

**Office de la Recherche Scientifique
et Technique Outre-Mer**



RÉPUBLIQUE de HAUTE-VOLTA



**Ministère de l'Agriculture
et de la Coopération**



Service du Génie Rural



ÉTUDE HYDROLOGIQUE DE BASSINS VERSANTS EXPÉRIMENTAUX DANS L'EST-VOLTA



BASSINS DE BOULSA

Campagne 1960 - Rapport définitif

AOÛT 1961

OFFICE de la RECHERCHE
SCIENTIFIQUE et TECHNIQUE OUTRE-MER

République de HAUTE-VOLTA

Ministère de l'Agriculture
et de la Coopération

Service du Génie Rural

ETUDE HYDROLOGIQUE de BASSINS
VERSANTS EXPERIMENTAUX dans l'Est-VOLTA

Bassins de BOULSA

Campagne 1960 - Rapport définitif

Août 1961

S O M M A I R E

	Pages
Introduction	1
1 - Données géographiques	3
2 - Données climatologiques	9
3 - Réalisation du programme d'études	22
4 - Analyse des crues du NIEBSDODE à KOGHNERE	25
5 - Analyse des crues de la POGORAYA à KOGHO	35
6 - Etude de l'écoulement du KOULOUOKO à NIEGHA	45
Conclusion	57
Annexes	58

Le Service du Génie Rural de la République de HAUTE-VOLTA a prévu, dans l'Est de cet Etat, un certain nombre de barrages d'accumulation destinés à créer des points d'eau artificiels et à mettre en valeur de nouvelles surfaces cultivables.

Il s'est avéré nécessaire, pour calculer les dimensions des ouvrages d'évacuation, d'évaluer les débits maximaux annuels, décennaux et si possible cinquantennaires, les volumes apportés par ces crues, ainsi que la forme des hydrogrammes correspondants. Ces études intéressent des bassins de superficie variant de 15 km² à 1500 km².

Par Convention du 11 Avril 1960, Monsieur le Ministre de l'Agriculture et de la Coopération, représenté par le Chef du Service du Génie Rural, a chargé l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer d'entreprendre des études expérimentales systématiques pour dégager les ordres de grandeurs de ces données hydrologiques pour un certain nombre de régions naturelles.

Le premier ensemble d'études hydrologiques devait être relatif à une zone de l'Est VOLTA, recevant environ 800 mm par an.

La superficie totale du bassin étudié devait être de l'ordre de 1000 km².

A l'intérieur de ce bassin, deux bassins expérimentaux secondaires : l'un de 20 km² environ, l'autre de 100 km² environ, devaient être observés pendant toute la saison des pluies 1960.

En accord avec l'Administration, il a été convenu, après reconnaissances, que les études porteraient sur le haut bassin de la SIRBA, et plus particulièrement sur une des branches principales de ce cours d'eau : le KOULOUOKO.

Le bassin le plus étendu, celui du KOULOUOKO, présente une superficie de 1010 km² à la station de NIEGHA. L'agglomération de BOULSA est située au Nord-Est et à l'intérieur de ce bassin, à 20 km environ de la station de contrôle.

Le bassin d'un affluent rive gauche du KOULOUOKO : la POGORAYA, près de KOGHO, dont la superficie est de 82 km² à la station de mesure, constitue la première station secondaire.

Le bassin d'un petit affluent de la POGORAYA, le NIEBSDODE, a été aménagé comme troisième bassin; sa superficie est de 21,5 km².

M. RUAT, l'hydrologue responsable de l'ensemble des bassins de BOULSA, est arrivé à OUAGADOUGOU le 22 Mai 1960. Les observations pluviométriques ont commencé le 30 Juin sur les deux petits bassins. Le 3 Juillet, la station du grand bassin était en service. Le 27 Juillet, les derniers pluviomètres étaient mis en place sur le grand bassin. Pour la première crue importante du bassin n° 3, celle du 18 au 26 Juillet, l'aménagement du bassin était suffisamment avancé pour permettre une interprétation valable. Les observations ont été arrêtées le 30 Septembre, à la fin de la saison des pluies.

La présente note rend compte des études relatives à cette première campagne 1960.

1 - DONNEES GEOGRAPHIQUES -

1.1 - Situation et description des bassins de BOULSA :

Le KOULOUOKO, bassin le plus étendu faisant l'objet de la présente étude, constitue l'une des sections amont de la SIRBA. Il a été limité à l'aval par la station n° 3 installée au pont de la route reliant TENKODOGO à BOULSA et à KAYA. Sa forme est très ramassée, il est encadré dans les coordonnées suivantes :

12° 22' et 12° 44' de latitude Nord

0° 28' et 0° 49' de longitude Ouest

Sa superficie à la station n° 3, à NIEGHA, est de 1010 km².

Le bassin du KOULOUOKO, tel qu'il vient d'être défini, est bordé au Nord et à l'Est par les bassins d'affluents de la SIRBA, au Sud et à l'Ouest par le bassin de la VOLTA BLANCHE. Il est représenté sur la feuille au 1/200.000° BOULSA-ND-30-VI, dressée par l'I.G.N.

Il aurait été intéressant d'aménager deux bassins intermédiaires de 200 et 500 km². Malheureusement, comme on le verra plus loin, le caractère du réseau hydrographique est tel que les bonnes sections de jaugeage sont rares et il n'a pas été possible d'en trouver pour ces superficies.

A l'intérieur du grand bassin de 1010 km², un second bassin de 82 km² a été aménagé sur la POGORAYA, premier affluent rive gauche du KOULOUOKO. La station de jaugeage a été implantée près du village de KOGHO.

Dans le bassin de la POGORAYA ainsi délimité, un affluent rive gauche, le NIEBSDODE, a pu être équipé en bassin expérimental. La station de jaugeages a été aménagée près du village de KOGHNERE (voir carte du bassin ci-joint), en un lieu où la superficie drainée est de 21,5 km².

Comme le grand bassin du KOULOUOKO, celui de KOGHNERE offre un aspect ramassé, ce qui le dote d'un bon coefficient de

compacité (1,27 contre 1,17 au KOULOUOKO), les périmètres de ces deux bassins étant évalués à 21 et 132 km. Par contre, le bassin de la POGORAYA à KOGHO est très étalé ; un grand périmètre de 47,5 km lui donne 1,47 pour coefficient de compacité, valeur médiocre.

Pour les deux petits bassins, l'étude des photographies aériennes et des reconnaissances complémentaires sur le terrain nous ont permis de préciser forme et superficie, en dépit de l'absence de relief qui rendait ce travail délicat. Par contre, l'erreur sur la superficie du grand bassin peut atteindre quelques % car elle n'a pas fait l'objet d'une recherche spéciale : on s'est contenté d'en établir les limites sur la carte au 1/200.000°.

1.2 - Aperçu morphologique :

Les bassins de BOULSA reposent sur le batholite de granites concordants syntectoniques qui couvre la région de KOUPELA, BOULSA et BOGANDE (1). Le relief est monotone ; le modelé est celui d'une vieille pénéplaine qu'égayent quelques rares collines. Celles-ci sont dues aux schistes birrimiens. On les rencontre seulement sur la limite septentrionale des bassins de la POGORAYA et du NIEBSDODE dont elles constituent à la fois l'unique accident de relief et la ligne de crête. Leur hauteur de commandement ne dépasse pas quelques dizaines de mètres. Quelques affleurements de schistes prolongent au Sud-Ouest cette série et sont visibles sur la limite Nord-Ouest du bassin du KOULOUOKO. Sur l'ensemble du bassin, la pente est faible.

Les sols ferrugineux tropicaux occupent la majeure partie des bassins et concourent à leur homogénéité. Ces sols sont généralement cuirassés. L'érosion hydrique en nappe est relativement intense dès que la pente augmente aux abords des thalwegs : les horizons superficiels meubles sont alors décapés et la cuirasse affleure en "glacis". Sur les hauteurs planes et assez bien drainées, des formations superficielles graveleuses annoncent la présence de l'induration à faible profondeur.

(1) "Géologie de la région OUAGADOUGOU-BOULSA". J. DUCCELLIER
Août 1956 - D.F.M.G. DAKAR.

Les thalwegs sont peu larges : plaines longitudinales de décantation entaillées par le lit discontinu du cours d'eau reliant un chapelet de mares. C'est le domaine des sols argileux à hydromorphie temporaire. L'alluvionnement des éléments fins est favorisé par les multiples seuils qui barrent la vallée en amont desquels ils se déposent dans les mares temporaires.

Sur les glacis de bas de pentes, l'érosion en nappe et en rigoles vient déposer les éléments graveleux sur les franges de l'alluvionnement du thalweg .

Dans la zone de transition climatique soudano-sahélienne, où se situent les bassins de BOULSA, la végétation accuse une certaine disparité.

La densité de peuplement est notable dans la région et les cultures de mil (associées à l'arachide et au coton parfois) occupent une superficie non négligeable. La végétation naturelle est très dégradée : cependant, le boisement est encore notable sur les zones cuirassées. Les feuillus subsistent encore, tels les combrétacées ; le karité disparaît ; les acacias constituent un groupe déjà important. Dans les bas-fonds, echinochloa, vetiveria, mitragyna... apportent leur cachet particulier.

1.3 - Le réseau hydrographique :

Il présente un net caractère sahélien de par sa dégradation. En tête de bassin, l'écoulement se propage en nappe au milieu des herbes jusqu'à constituer de petites rigoles qui ne formeront un lit marqué que si la pente s'accroît et si la superficie drainée dépasse plusieurs km².

Les lits de ces petits torrents, où l'écoulement ne s'observe que pendant quelques mois et juste après les fortes pluies, sont très sinueux et encaissés dans le terrain. Tant que la pente est suffisante, le profil carré à berges verticales de 1 à 2 mètres dans les sols argileux est de rigueur ; si la pente diminue, l'alluvionnement est favorisé et les eaux se répandent dans toutes les directions à travers ces plaines de remblaiement sans pouvoir ni créer ni maintenir un lit mineur apparent.

A la faveur d'une rupture de pente, une mare se constitue que barre un seuil plus aval. Les eaux de ruissellement s'y engouffrent et s'y accumulent dès les premières fortes averses de l'hivernage.

Dès lors, toutes les crues déborderont de ces mares pleines et se frayeront un chemin à travers les champs jusqu'au seuil aval. Cet écoulement sporadique et discontinu caractérise la région.

On a beaucoup de mal à y choisir des sections de jaugeages : les biefs à lit marqué se trouvent dans les zones à pente longitudinale suffisante et lorsque le modelé du terrain resserre le chemin de passage des eaux entre deux buttes cuirassées par exemple.

Ainsi à KOGHNERE, après 21,5 km² de bassin et 4 à 5 km de lit, le NIEBSDODE présente une large mare bien entaillée dans le terrain avant de franchir le seuil constitué par la route de BOULSA à KORSIMORO. Le lit mineur est bien marqué sur 100 mètres de long ; il disparaît au-delà tant en amont qu'en aval. La section de jaugeages y fut implantée : largeur 12 m, profondeur 1,50 m. Les débordements sont monnaie courante d'environ 20 mètres sur chaque rive quand la mare est pleine.

A KOGHO (B.V. de 82 km² et lit d'environ 12 km maximum), la POGORAYA est bien encaissée au pied de la butte qui supporte le village : 10 m de largeur, 1,50 m de profondeur. Mais à 100 m en aval, le lit s'estompe et les eaux se répandent dans une vaste plaine d'épandage.

Pour des bassins plus grands, on retrouve difficilement un tel resserrement du lit, les plaines d'épandage ont pris une grande importance. Nous n'avons pu trouver aucune section correcte pour jauger les cours d'eau drainant 200 et 500 km².

Une seule possibilité de contrôle : le KOULOUOKO à NIEGHA à la traversée de la piste BOULSA-KOUPELA, avec 1010 km² de bassin drainé. Un pont de bois traverse le marécage sur près d'un kilomètre. En rive droite adossé à une butte cuirassée, on devine le lit mineur large d'une quarantaine de mètres et profond de 3 à 4 mètres. Il est bordé d'une végétation

arbustive semi-aquatique dense ; en rive gauche, une immense zone de débordement avec des chenaux entrelacés où l'eau s'écoule lentement au milieu des grandes graminées.

Dans l'ensemble, le chevelu hydrographique est assez dense et bien ramifié conduisant à des bassins aux formes ramassées et homogènes. Nous ne pouvons donner ni l'hypsométrie de ceux-ci, ni les profils en long des cours d'eau car la carte au 1/200.000° de BOULSA n'est encore publiée que sous forme d'esquisse planimétrique.

1.4 - Conséquences pour l'écoulement :

La faible perméabilité des sols des bassins (argileux ou cuirassés à faible profondeur) est favorable à un ruissellement abondant lors des fortes averses de l'hivernage. L'infiltration devrait être peu importante in situ.

La forme ramassée des bassins et la bonne densité du réseau hydrographique sont deux autres facteurs favorables au ruissellement.

Celui-ci sera pourtant bien limité essentiellement parce que les pentes sont faibles, les thalwegs discontinus et les zones d'épandage nombreuses. Tout concourt ainsi à l'accumulation des eaux de pluie tant superficiellement sur les terrains plats que dans les mares des bas-fonds. Il doit en résulter un accroissement notable des pertes par évaporation et par infiltration dans les mares temporaires et les zones de débordement, pertes qui s'effectueront aux dépens des eaux de ruissellement. L'écoulement annuel devrait donc être fortement amputé et ne représenter qu'un faible pourcentage des apports pluviométriques.

1.5 - Hydrogéologie (1) :

Nous avons vu que l'infiltration non généralisée ne se produisait avec intensité que dans les bas-fonds d'accumulation en hivernage. Ainsi s'effectue l'alimentation des divers types de nappes rencontrées dans la région :

(1) "Hydrogéologie de la région de KAYA" par J. DUCCELLIER - D.F.M.G. - DAKAR - Août 1956.

- nappe alluviale (à KOGHO dans la vallée de la POGORAYA ; à NIEGHA dans celle du KOULOUOKO),
- nappe d'arènes granitiques (à SAOLGO et KOUKORA YARSE),
- nappe sous latéritique à BOULSA.

Toutes ces nappes sont locales et non reliées entre elles, sauf peut-être en fin d'hivernage.

Les puits existants, inventoriés dans les cinq localités citées, fournissent bon ou mal un peu d'eau, d'une manière pérenne pour les nappes alluviales et à BOULSA, pendant quelques mois après les pluies dans les arènes granitiques. La richesse de ces nappes n'est certainement pas excessive.

Le niveau hydrostatique est rencontré en général avant 10 mètres ; les eaux sont peu chargées (100 à 200 mg/l d'extrait sec à 110°).

Dans le bilan hydrologique, au chapitre des pertes, si la fraction des eaux infiltrées est loin d'être négligeable, nous pensons cependant que l'évaporation reste prépondérante.

BASSINS VERSANTS DE BOULSA

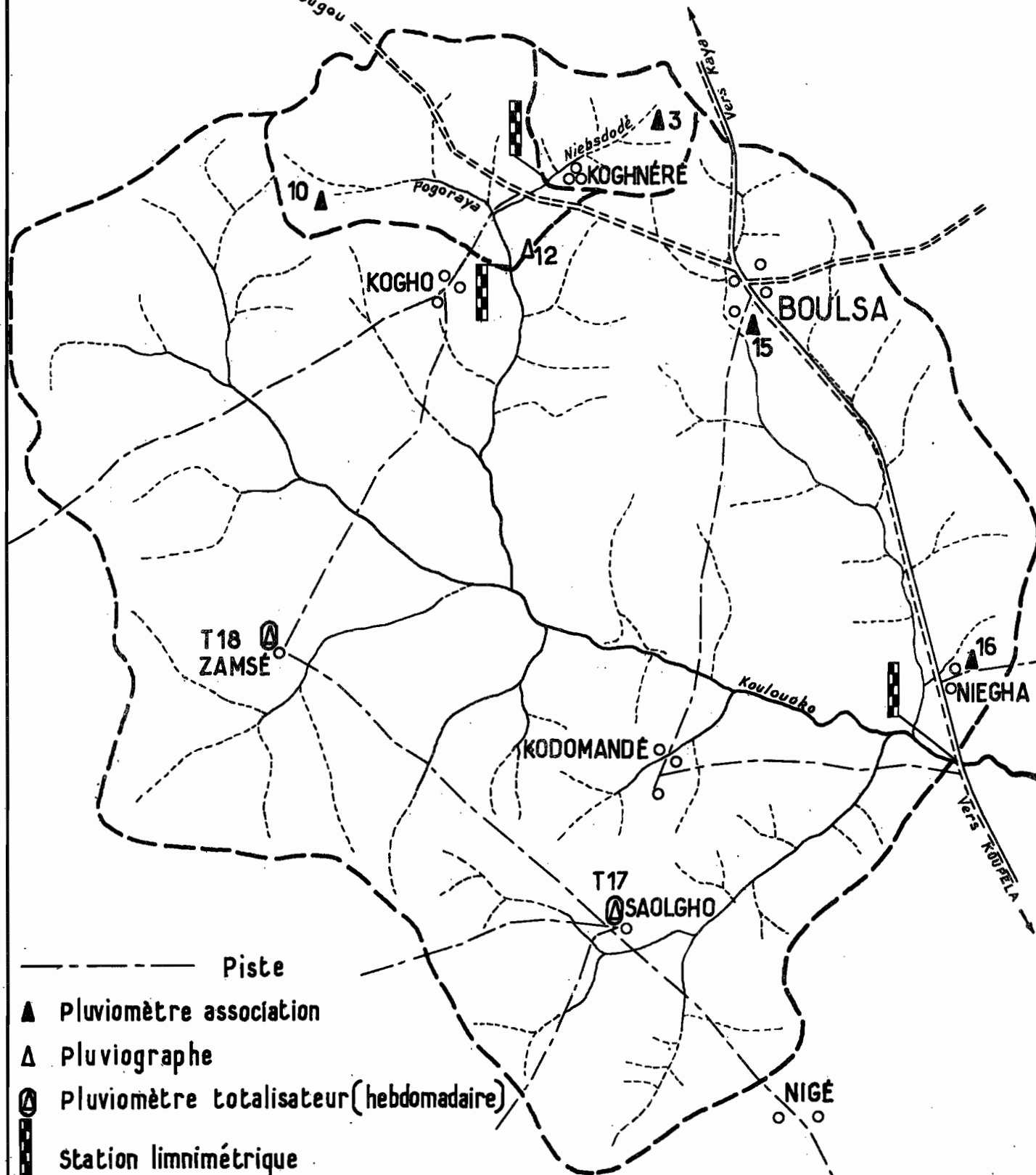
Gr: 1

Station n° 3 (NIEGHA) : 1010 Km²

ÉCHELLE : 1/200.000^{ème}

← Vers Ouagadougou

→ Vers Kaya



Piste

▲ Pluviomètre association

△ Pluviographe

⊙ Pluviomètre totalisateur (hebdomadaire)

⊞ Station limnimétrique

ÉLECTRICITÉ DE FRANCE. INSPECTION GÉNÉRALE POUR LA COOPÉRATION HORS MÉTROPOLE

C.TUBE

AO

DATE: 9-61

DESSINÉ: J. Méryer

EON

VOL. 61.001

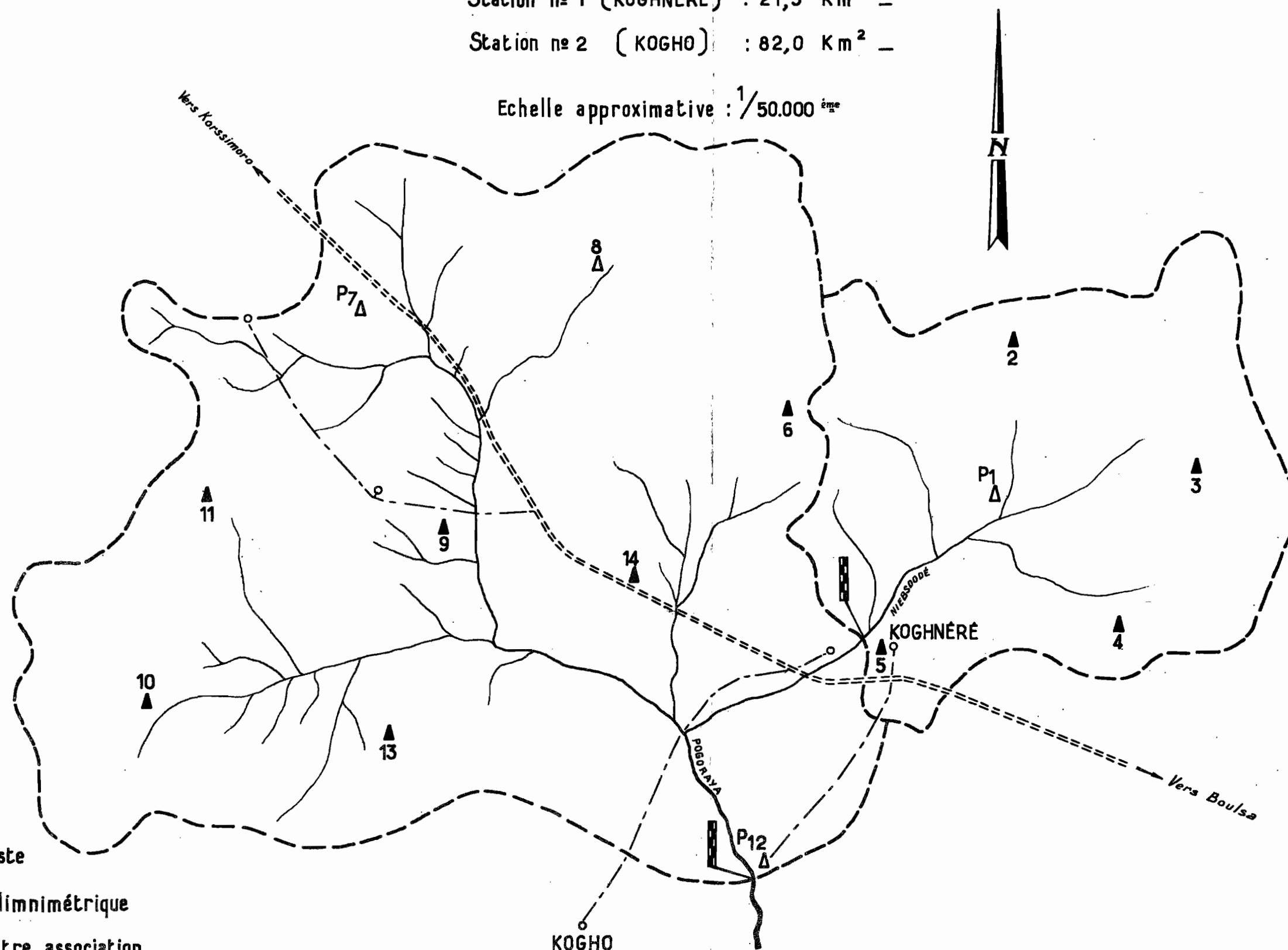
BASSINS VERSANTS DE BOULSA

Gr:2

Station n° 1 (KOGHNÉRE) : 21,5 Km² —

Station n° 2 (KOGHO) : 82,0 Km² —

Echelle approximative : 1/50.000^{ème}



Piste

Station limnimétrique

▲ Pluviomètre association

△ Pluviographe

ÉLECTRICITÉ DE FRANCE INSPECTION GÉNÉRALE POUR LA COOPÉRATION HORS MÉTROPOLÉ

CITUBE

A 1

DATE: 9-61

DESSINÉ: J. Méryer

EON

VOL. 61.002

2 - DONNEES CLIMATOLOGIQUES -

2.1 - Généralités :

Sur les bassins de BOULSA règne la variante Nord du climat soudanien caractérisée par 2 saisons nettement distinctes

- une longue période de sécheresse quasi totale d'Octobre à Avril,
- un hivernage pluvieux de 3 à 4 mois entre Juin et Septembre.

Pour donner une idée des facteurs climatiques dans cette région, nous allons faire appel aux deux stations météorologiques les plus proches : OUAGADOUGOU et FADA N'GOURMA, respectivement situées à 130 km SW et 110 km SE de BOULSA. Ce dernier site n'est qu'à 50 km environ au Nord de la ligne reliant les deux stations météorologiques ; on peut donc estimer, aux particularités locales près, que les données climatiques de ces stations s'appliquent à BOULSA sans nécessiter de corrections.

Nous ne disposons pas de valeurs moyennes interannuelles, mais étant donné la faible variabilité des facteurs température et humidité, nous pouvons admettre que les relevés de 1960 donnent une représentation correcte du climat. Dans le tableau n° 1 sont rassemblées les moyennes mensuelles des températures maximales et minimales, des humidités relatives à 6 h, 12 h et 18 h observées en 1960 aux stations de OUAGADOUGOU-Aérodrome et FADA N'GOURMA.

A titre d'informations complémentaires, nous précisons que les vents dominants soufflent du secteur NE pendant la saison sèche (Novembre à Mars) et du secteur SW pendant l'hivernage (Mai à Octobre) et les périodes de transition. La presque totalité de ces vents sont modérés, leur vitesse n'excédant pas 25 km/h.

Bien qu'aucune mesure directe de l'évaporation sur bac n'ait été effectuée durant la campagne d'observations, par analogie avec les régions sous même latitude étudiées au MALI, nous pensons pouvoir estimer à 2000 mm environ l'évaporation annuelle sur nappe d'eau libre dans la région de BOULSA.

TABLEAU N° 1

MOYENNES MENSUELLES des FACTEURS CLIMATIQUES en 1960

Températures maximales et minimales en °C

Stations		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
OUAGADOUGOU-Aéro	T _x	33,9	37,0	37,9	39,3	37,2	34,4	31,4	31,3	31,6	36,4	36,2	33,6
	T _n	16,6	18,3	22,0	25,2	24,7	23,5	22,0	22,1	21,7	23,4	19,6	18,9
FADA N'GOURMA	T _x	33,3	36,3	37,7	38,1	37,1	33,5	30,3	30,2	30,2	35,0	35,4	33,6
	T _n	16,4	18,1	22,2	24,4	24,5	23,3	21,3	21,4	21,1	21,9	17,5	18,7

Humidité relative en %

Stations		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
OUAGADOUGOU-Aéro	U ₆	46	33	36	53	68	79	90	92	93	83	62	46
	U ₁₂	15	7	17	26	40	55	64	69	66	47	24	20
	U ₁₈	23	11	17	24	37	53	65	67	71	50	34	28
FADA N'GOURMA	U ₆	42	30	45	64	76	86	95	97	98	93	70	50
	U ₁₂	21	11	24	35	42	60	70	74	73	53	26	24
	U ₁₈	28	17	24	38	46	57	73	77	85	64	41	35

2.2 - Pluviométrie :

2.2.1 - Pluviométrie annuelle :

Le poste de BOULSA exploité par la Mission Catholique n'est malheureusement en service que depuis 2 ans. Pour pallier cette insuffisance, nous avons fait appel à une dizaine de stations, dans un rayon de 200 km autour de BOULSA, dont les périodes d'observations sont assez longues pour permettre d'évaluer correctement la pluviométrie annuelle moyenne de l'Est VOLTA.

Six de ces stations sont en exploitation depuis plus de 35 ans, et leurs moyennes peuvent être considérées comme précises. Des éléments d'informations supplémentaires sont fournis par 5 autres postes en service depuis 10 à 20 années.

Le tableau ci-après rassemble les éléments de cette compilation ; les pluviométries moyennes sont celles du Service Météorologique de HAUTE-VOLTA (publication de 1961).

Pluviométrie moyenne (mm)

Station	Période	Nombre d'années	Pluie moyenne
DORI	1919-60	42	515
FADA N'GOURMA	1919-60	42	868
KAYA	1919-60	42	707
TENKODOGO	1921-60	40	951
KOUPELA	1923-60	38	826
OUAGADOUGOU-Ville	1921-60	38	866
KANTCHARI	1943-60	18	782
TOURCOINGBAM	1946-60	15	642
GARANGO	1947-60	14	901
BOGANDE	1948-60	13	731
TOUGOURI	1953-60	8	669

Ces valeurs ont été reportées sur la carte au 1/2.000.000^e où nous avons tracé les isohyètes interannuelles (graphique n° 3).

Les bassins de BOULSA schématisés par un rectangle hachuré sont traversés par l'isohyète 800 mm dans leur partie méridionale. Sans chercher une précision illusoire, nous dirons que la pluviométrie moyenne de cette zone est comprise entre 750 et 800 mm.

Nous avons soumis les trois stations principales les plus proches de BOULSA, à savoir : KAYA, KOUPELA et OUAGADOUGOU, à un ajustement gaussique des totaux pluviométriques annuels. Les écarts-types calculés pour ces séries sont les suivants :

OUAGADOUGOU-Ville (34 ans)	=	109 mm
KAYA (39 ans)	=	132 mm
KOUPELA (35 ans)	=	136 mm

La valeur obtenue pour OUAGADOUGOU nous semble un peu faible pour un climat tropical soudanien ; nous préférons retenir 135 mm comme l'écart-type probable pour la région de BOULSA.

En prenant 775 mm de pluviométrie moyenne, on peut dire que les hauteurs affectées d'une probabilité décennale d'apparition seraient de 600 mm et 950 mm. Notons qu'en 1959, il est tombé 949 mm à BOULSA.

2.2.2. - Répartition mensuelle :

Dans le tableau n° 2 sont réunies les diverses moyennes mensuelles de la pluviométrie calculées sur la période d'observations pour les 3 stations de KAYA, KOUPELA et OUAGADOUGOU-Ville.

Les caractéristiques sont semblables dans cette région :

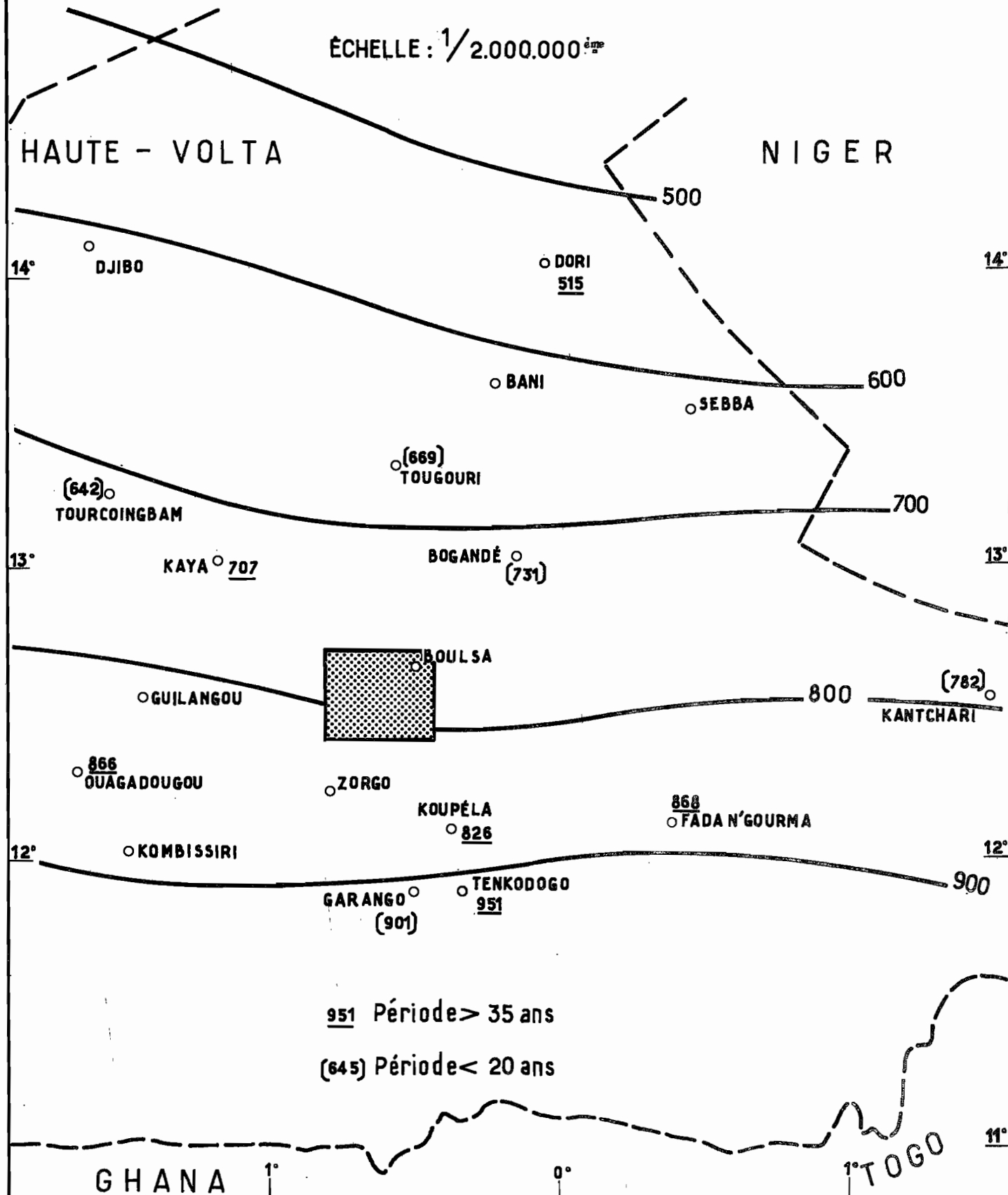
- la saison des pluies dure réellement 5 mois, de Mai à Septembre, chacun recevant plus de 50 mm en moyenne; cette période totalise plus de 90 % des pluies annuelles.

PLUVIOMÉTRIE DANS L'EST - VOLTA

Gr:3

ISOHYÈTES INTERANNUELLES

ÉCHELLE : 1/2.000.000 ^{imp}



ÉLECTRICITÉ DE FRANCE. INSPECTION GÉNÉRALE POUR LA COOPÉRATION HORS MÉTROPOLE

VOL. 61.003

C: TUBE

AO

DATE : 9-61

DESSINÉ : J. Méryer

EON

TABLEAU N° 2

Répartition moyenne mensuelle des précipitations
(en mm)

Stations	Période	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
KAYA	1919-60	0	0	2	10	49	96	158	236	125	26	4	0
OUAGADOUGOU-V.	1921-60	0	2	7	17	86	116	191	262	150	38	1	0
KOUPÉLA	1923-60	1	1	6	25	78	116	164	253	151	30	3	0

Minimums mensuels observés

Stations	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
KAYA	0	0	0	0	0	31	88	96	38	0	0	0
OUAGADOUGOU-Ville	0	0	0	0	8	47	112	137	57	0	0	0
KOUPÉLA	0	0	0	0	0	34	68	91	54	0	0	0

Maximums mensuels observés

Stations	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
KAYA	7	5	20	45	128	252	260	402	257	91	30	0
OUAGADOUGOU-Ville	5	25	45	63	226	204	307	423	269	147	10	15
KOUPÉLA	37	22	34	68	164	201	341	399	277	136	24	6

- il pleut moins de 100 mm en Mai et plus de 200 mm en Août,
- autour de ces moyennes, il y a une très forte variabilité pour chaque mois : la pluviométrie de Mai peut être nulle et on a relevé 400 mm en Août certaines années.

Un tel schéma s'applique évidemment à la région de BOULSA. Sous la latitude 12° N, la majeure partie des précipitations sont des tornades courtes et intenses, dont il se produit rarement plus de 2 dans une même journée.

En première approximation, le nombre d'averses est comparable à celui des jours de pluies. Le nombre de ces jours de pluie en moyenne annuelle suit une variation parallèle à celle de la hauteur de précipitation.

Si l'on constate 51 jours à KAYA contre 61 à KOUPELA et 69 à OUAGADOUGOU, on peut admettre une moyenne de 55 jours pour BOULSA avec des extrêmes de 40 et 70 jours comme on en a enregistré dans ces 3 stations. La répartition au cours des saisons pourrait revêtir l'aspect moyen suivant des plus probables :

2	jours	en	Avril
5	"	"	Mai
8	"	"	Juin
12	"	"	Juillet
15	"	"	Août
10	"	"	Septembre
3	"	"	Octobre

Nous arrivons maintenant à l'étude des très fortes précipitations journalières.

2.2.3 - Les précipitations exceptionnelles en 24 heures :

Nous avons retenu 3 stations anciennes pour cette analyse :

- OUAGADOUGOU-Ville avec 32 ans de relevés (1927 et 1930-1960)
- KAYA " 35 " (1926-1960)
- KOUPELA " 34 " (1926-1960 sauf 1939)

Nous possédons, pour chacune, les relevés journaliers complets afférant aux périodes indiquées. Etant donné le régime des pluies dans l'Est-VOLTA, il est admis que la hauteur journalière est le fait d'une seule averse, assimilation d'ailleurs vraie dans la majorité des cas.

Tous les relevés sont classés et soumis à l'analyse statistique selon le critère suivant : le logarithme népérien de la précipitation suit une loi de GAUSS pour laquelle la fréquence à prendre en considération est la fréquence expérimentale divisée par une fréquence d'ajustement, c'est-à-dire que l'on ne tient pas compte des pluies de quelques millimètres dont le nombre est généralement mal connu.

On obtient les résultats suivants en mm pour quelques fréquences particulières :

Stations	KAYA	OUAGADOUGOU-Ville	KOUPELA
Fréquence annuelle	55	63	63
Fréquence décennale	94	108,5	113,5
Fréquence cinquantenaire	126	148	158

Pour les bassins de BOULSA, affectés d'une pluviométrie moyenne annuelle (770 à 800 mm environ) intermédiaire entre celle de KAYA (701 mm) et celles de KOUPELA (826 mm) et OUAGADOUGOU-Ville (868 mm), nous proposons de retenir les hauteurs suivantes :

60 mm			pour l'averse annuelle
110 mm	"	"	décennale
145 mm	"	"	cinquantenaire

2.2.4 - Forte précipitation pendant 5 jours consécutifs

Dans l'Est-VOLTA, et la région de BOULSA en particulier, à partir de 500 km² environ, étant donné la durée de l'écoulement et les temps de réponse des bassins, les très fortes crues résultent d'une série d'averses consécutives.

C'est le cas du bassin du KOULOUOKO avec 1010 km² à NIEGHA. A l'examen rapide des crues, on pense que la période de 5 jours semble la plus conforme. Nous avons donc tenté une rapide étude des précipitations durant 5 jours consécutifs, en employant les données de KAYA, KOUPELA et OUAGADOUGOU qui viennent de nous servir à fixer les pluies de fréquence rare en 24 heures.

L'analyse intégrale des relevés est beaucoup trop complexe pour le but recherché. Nous nous sommes contentés de classer les plus fortes valeurs en appliquant la méthode des stations-années avec ces 3 postes totalisant 101 ans.

Quand 2 séries de pluies affectent une même période à 2 stations - nous avons admis qu'il en était ainsi dès qu'il y avait au moins 2 jours de commun sur 5 - nous éliminons la plus faible série. Cela ne s'est jamais produit pour les 20 plus fortes valeurs classées qui figurent au tableau n° 3. Mais, pour l'ensemble des séries totalisant plus de 80 mm, que nous avons retenu, la coïncidence avec une série voisine frappe environ 20 % d'entre elles.

Dans ce classement, on trouve 164 mm au 10ème rang et 94 mm au 101ème rang.

La régularité de variation de l'échantillon permet d'augurer d'une précision correcte; nous retiendrons pour la région de BOULSA :

95 mm pour la fréquence annuelle

165 mm pour la fréquence décennale

Tout ce que l'on peut dire de la fréquence cinquantenaire c'est qu'à ± 20 %, elle est estimable à 200 mm.

TABLEAU N° 3

Précipitations durant 5 jours consécutifs

Valeurs les plus fortes (101 stations années)

Rang:	Dates	Stations	Hauteur (mm):
1	10-14/8/1928	OUAGADOUGOU	234
2	15-19/8/1958	KAYA	206
3	14-18/8/1942	KOUPELA	182
4	9-13/8/1948	OUAGADOUGOU	180
5	5-8/8/1958	KAYA	178
6	14-18/8/1927	KOUPELA	176
7	16-20/8/1959	KAYA	172
8	26-30/8/1943	OUAGADOUGOU	171
9	11-15/8/1949	OUAGADOUGOU	170
10	2-6/8/1928	OUAGADOUGOU	164
11	30/8-3/9/1943	KOUPELA	162
12	26-30/5/1953	OUAGADOUGOU	159
13	21-24/7/1936	KOUPELA	156
14	26-27/7/1948	KOUPELA	156
15	13-17/8/1930	OUAGADOUGOU	155
16	3-7/8/1940	KAYA	153
17	20-24/7/1953	KAYA	151
18	25-28/8/1945	OUAGADOUGOU	151
19	25-28/7/1950	KAYA	146
20	16-20/8/1935	KOUPELA	144
..
101 ^e	94

2.2.5 - Intensités des précipitations :

Nous avons dépouillé tous les pluviogrammes enregistrés en 1960 aux 3 stations des bassins de BOULSA. Aucune averse très importante n'ayant frappé ces stations, les hyétogrammes des plus violentes tornades ne peuvent prétendre représenter autre chose que l'allure des intensités-durées pour une fréquence annuelle.

Les pluies des 6 Juillet au P n° 12 et 17 Juillet au P n° 7 fournissent les valeurs maximales observées, à savoir :

166 mm/h en	5 mn
147 "	10 "
124 "	15 "
81 "	30 "
59 "	45 "
48 "	1 h

Nous sommes là certainement assez loin des maximums possibles et même des valeurs correspondant à la fréquence décennale.

A titre d'informations, nous citerons les conclusions d'une étude effectuée en 1951 sur 15 années de relevés à OUAGADOUGOU (1) : les valeurs maximales pour cette période sont :

138 mm/h en	15 mn
90 "	3' "
72 "	45 "
66 "	1 h
30 "	1 h 1/2

(1) "Contribution à l'étude des pluies intenses des régions intertropicales" par M. ROBERT - Annuaire Hydrologique Outre-Mer 1951 (O.R.S.T.O.M.)

Elles peuvent correctement représenter la fréquence décennale dans une première approximation. Pour de plus faibles intensités nous conseillerons, pour une récurrence comparable :

230 mm/h en 5 mm

190 " 10 "

résultats extraits d'une étude de l'O.R.S.T.O.M. au MALI.

2.2.6 - La pluviométrie en 1960 :

Nous avons tracé les isohyètes annuelles de l'Est-VOLTA sur la carte n° 4. On y observe l'existence de :

- 2 zones à précipitations nettement excédentaires (115 à 120 % de la moyenne), l'une entre FADA N'GOURMA et KANTCHARI, l'autre vers GUILANGOU;
- un caractère généralisé dans le reste de la région d'une légère déficience (95 % environ de la moyenne), qui s'accentue entre les 2 zones précédentes pour former un pôle très déficitaire entre ZORGO, KOUPELA et TENKODOGO (70 à 80 % de la moyenne).

(1)

Pour sa part, BOULSA a reçu 716 mm, soit 93 % d'une moyenne estimée à 775 mm, ce qui constitue une assez faible déficience.

L'examen de la répartition mensuelle des précipitations doit contribuer à comprendre ces différences. Dans le tableau ci-joint, on observe en effet, que :

- les mois excédentaires furent Juillet et Septembre;
- le mois déficitaire Août.

Ces remarques affectent respectivement les zones à précipitations totales annuelles excédentaire (FADA, GUILANGOU) et déficitaire (ZORGO).

(1) Relevés complets depuis la création du poste, en annexe, tableaux 4 à 6.

Stations	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
BOULSA	0	0	22	0	82	104	282	124	100	2	0	0	716
FADA N'G.	0	0	10	32	86	70	254	251	277	4	0	1	985
GUILANGOU	0	0	31	7	122	110	266	216	280	19	1	0	1052
ZORGO	0	0	0	20	24	52	238	200	132	12	0	0	678

Ce premier tour d'horizon n'est pas très concluant en ce qui concerne les bassins de BOULSA. On peut estimer qu'ils seront affectés d'une petite tendance déficitaire qui s'accroîtrait vers le Sud en approchant de ZORGO ; mais la zone excédentaire de GUILANGOU n'est peut-être pas sans influence sur le Nord-Est de ces bassins.

Quels renseignements complémentaires nous apportent les observations effectuées en 1960 sur ces bassins ?

Nous disposons de relevés complets pendant les trois mois de Juillet, Août et Septembre aux 14 pluviomètres répartis sur le bassin de la POGORAYA, et au P 15 installé à BOULSA (1). Le total des précipitations de ce trimestre oscille entre 506 mm (au P 15 de BOULSA) et 725 mm (au P 14 sis en plein centre du bassin de la POGORAYA).

La pluviométrie moyenne de ce trimestre a été évaluée à :

615 mm pour le bassin du NIEBSDODE

650 " " de la POGORAYA

Si l'on considère maintenant le total des précipitations reçues pendant la même période aux postes voisins :

(1) cf. Chapitre 3 - Tableaux 7 à 9

506 mm à BOULSA (1)
570 " ZORGO
419 " KOUPELA
762 " GUILANGOU

on constate, en étant prudent et en s'appuyant surtout sur BOULSA et ZORGO, que la pluviométrie du début de l'année (il n'a pas plu au cours du 4ème trimestre), oscille entre 100 et 200 mm. On peut donc, dans une première approximation et sans risquer d'erreur grossière, estimer la pluviométrie moyenne en 1960 :

- entre 700 et 750 mm dans le bassin du NIEBSDODE
- entre 750 et 800 mm dans le bassin de la POGORAYA

En définitive, on admettra que c'est la zone excédentaire de GUILANGOU qui a le plus influencé ces deux bassins pour lesquels la pluviométrie de 1960 est proche de la normale.

Dans la répartition mensuelle, on note une forte abondance en Juillet : 13 appareils ont reçu plus de 300 mm, chiffre voisin des maximums régionaux (cf. Tableau n° 2), et un déficit assez marqué en Août : moins de 200 mm à 8 pluviomètres. Ceci n'est évidemment pas favorable pour le bilan annuel car ce sont généralement les averses d'Août qui, tombant sur un sol saturé par celles de Juillet, donnent lieu aux plus forts écoulements.

Pour le grand bassin du KOULOUOKO, les conclusions sont différentes et moins précises. La couverture pluviométrique est faible : en dehors des 15 appareils précités, il n'y a que 3 pluviomètres dans la partie Sud du bassin ; ceux-ci n'ont été installés qu'après le 10 Juillet et ne permettent pas d'évaluer correctement la pluviométrie du 3ème trimestre.

Il semble cependant que les hauteurs relevées s'apparentent au plus à celles de BOULSA et qu'il faille s'attendre là à un déficit annuel assez marqué (environ 100 mm) affectant le Sud du bassin, en rive droite du KOULOUOKO, sous l'influence de la zone déficitaire de ZORGO.

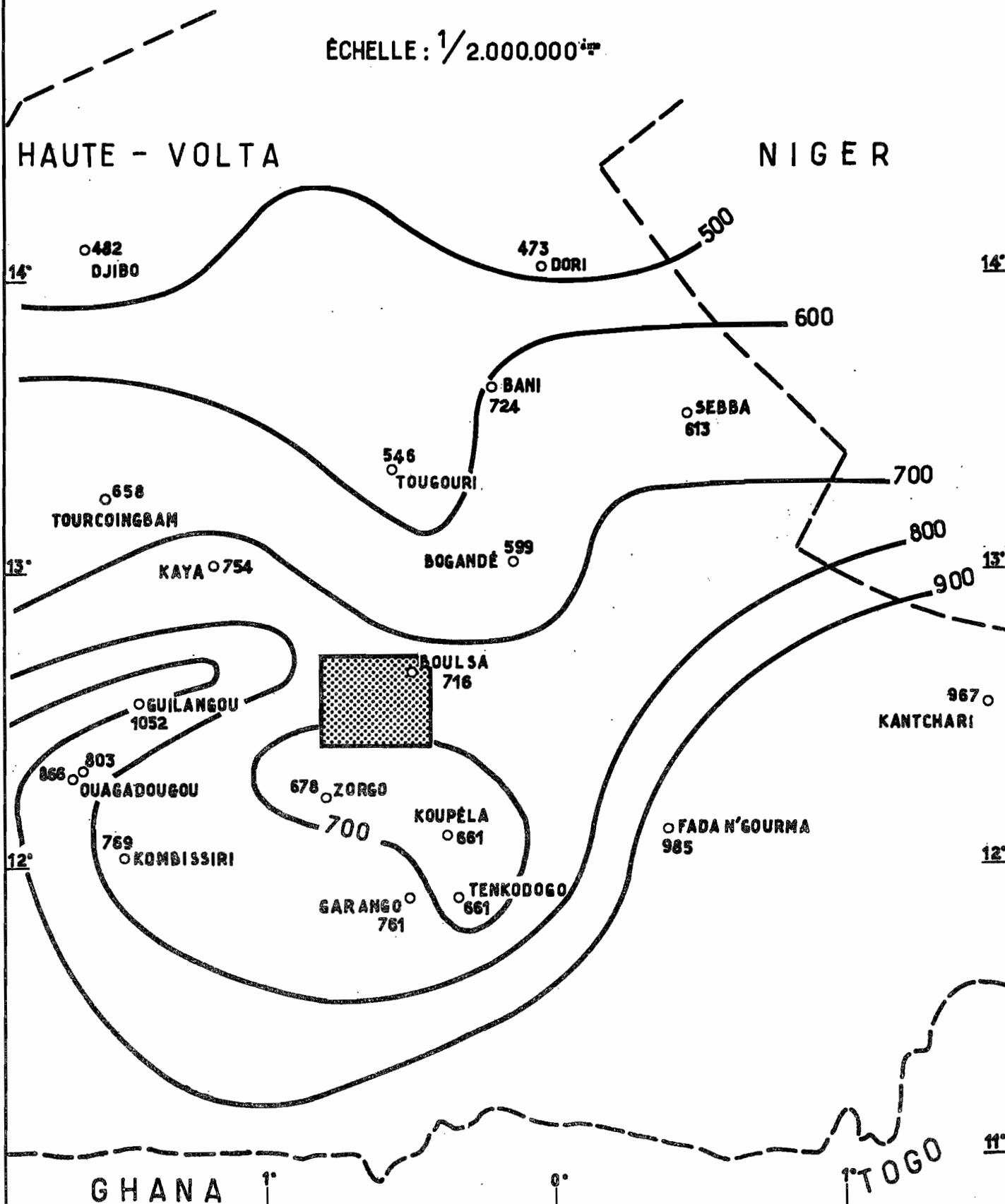
(1) On a donné le n° P 15 au pluviomètre officiel de BOULSA.

PLUVIOMÉTRIE DANS L'EST - VOLTA

Gr: 4

ISOHYÈTES DE L'ANNÉE 1960

ÉCHELLE: 1/2.000.000^{km}



ÉLECTRICITÉ DE FRANCE. INSPECTION GÉNÉRALE POUR LA COOPÉRATION HORS MÉTROPOLE

VOL.61.004

C? TUBE

AO

DATE: " 9-61

DESSINÉ: J. Métyer

EOM

3 - REALISATION du PROGRAMME d'ETUDES -

3.1 - L'équipement des bassins :

Il a été réalisé presque totalement au cours du mois de Juin par M. RUAT, hydrologue responsable des études de BOULSA.

3.1.1 - Pluviométrie :

L'effort a surtout porté sur les deux petits bassins afin d'y effectuer des études fines de relation pluie-écoulement. Le réseau comprenait 14 appareils pour les 82 km² du bassin de la POGORAYA, soit 1 appareil pour moins de 6 km² ; la densité était plus élevée sur le petit bassin du NIEBSDODE, fraction du précédent, puisqu'elle atteignait 1 pluviomètre pour 3,5 km² (6 au total pour 21,5 km²).

Parmi ces appareils, trois - les n° 1 - 7 et 12 - étaient des pluviographes à augets basculeurs munis d'un tambour à rotation quotidienne. Leur implantation judicieuse permettra de saisir au mieux les variations de l'intensité des pluies affectant les deux bassins.

Pour le grand bassin du KOULOUOKO (1010 km² à NIEGHA), pour lequel seul importe le total des précipitations reçues chaque mois ou chaque semaine, les installations supplémentaires furent limitées à 3 appareils :

P 16 à NIEGHA

P 17 à SAOLGHO

P 18 à ZAMSE

auxquels s'ajoutent celui du poste de BOULSA dénommé P 15.

Limitation due à deux causes essentielles :

- le manque d'observateurs lettrés dans les villages,
- l'impraticabilité des pistes traversant le bassin en hivernage.

C'est pourquoi seuls les P 15 et P 16 firent l'objet de lectures biquotidiennes à 7 heures et 19 heures comme les 14 appareils des petits bassins, alors que les P 17 et P 18 n'étaient relevés qu'une fois par semaine.

3.1.2 - Hydrométrie :

Les stations de contrôle du NIEBSDODE et de la POGORAYA ont été installées à proximité des villages de KOGHNERE et KOGHO, dans des biefs à peu près corrects. Chacune a reçu l'équipement suivant :

- une échelle limnimétrique de 3 mètres,
- un limnigraphe Ott type X, avec tambour à rotation en 24 h,
- une passerelle de jaugeages sur le lit mineur,
- un câble gradué prolongeant la passerelle de KOGHO pour les mesures de débordement.

Au pont du KOULOUOKO, près de NIEGHA, on a placé une échelle limnimétrique de 4 mètres et un limnigraphe Ott, type XV, dont le tambour effectuait une rotation hebdomadaire. Plusieurs sections de jaugeages ont été balisées pour effectuer les mesures de basses eaux et de crues ; celles-ci furent faites en bateau (catamaran).

3.2 - Les observations réalisées ::

Tous les pluviomètres étaient en fonctionnement le 1er Juillet, hormis les P 16, P 17 et P 18 mis respectivement en service le 10 Juillet pour le 1er et le 27 Juillet pour les deux autres.

Les relevés biquotidiens (7 heures et 19 heures) étaient effectués par un agent voltaïque qui ralliait les appareils en bicyclette ; des assistants lui apportaient les contenus des pluviomètres éloignés au bord de la route ou dans des villages proches. Cet agent procédait en outre au remplacement des feuilles de pluviographes et de limnigraphes.

Ces derniers étaient aussi en fonctionnement le 1er Juillet pour les petits bassins et le 3 Juillet pour celui de NIEGHA.

M. RUAT, chaque semaine, venait changer la feuille de cet appareil, contrôler le lecteur du pluviomètre P 16 de NIEGHA, et relever la pluviométrie des totalisateurs P 17 et P 18.

Toutes ces observations ont cessé le 30 Septembre, la saison des pluies étant terminée.

On trouvera en annexe les tableaux n° 4 à 9 sur lesquels sont portés les relevés biquotidiens des précipitations aux 18 pluviomètres des bassins de BOULSA pendant le 3ème trimestre 1960.

Les pluviométries moyennes mensuelles ont été établies graphiquement pour les deux petits bassins ; une estimation probable a été effectuée pour celles du grand bassin. Ces résultats sont rassemblés ci-après :

Pluviométrie moyenne en mm

Période	Bassin versant : NIEBSDODE	Bassin Versant : POGORAYA	Bassin Versant : KOULOUOKO
Juillet	332	325	-
Août	163	205	185
Septembre	120	120	155
Total			
3ème trim.	615	650	-

En ce qui concerne les hauteurs d'eau, les observations limnigraphiques ont débuté le 1er Juillet à KOGHO et KOGHNERE et le 3 à NIEGHA. Les précipitations antérieures n'avaient pas donné lieu à écoulement généralisé si l'on en juge par l'examen des lits des cours d'eau effectué en Juin pendant la phase de reconnaissances et d'installations.

Fin Septembre, les écoulements avaient cessé aux 3 stations ; ils n'étaient d'ailleurs permanents entre chaque crue qu'au pont du KOULOUOKO ; si les mares occupant les lits restaient généralement en eau entre deux crues rapprochées aux stations secondaires, l'écoulement en amont et aux seuils aval cessait dès le lendemain de la crue.

Nous verrons pour chaque station, au cours des prochains Chapitres, les mesures de débit permettant l'exploitation de ces hauteurs d'eau.

4 - ANALYSE des CRUES du NIEBSDODE à KOGHNERE (21,5 km²) -

4.1 - Mesure des débits :

L'étalonnage de la station a été effectué en deux temps :

- à l'aide de 4 jaugeages complets pour les basses eaux, c'est-à-dire de 1,30 m à 1,50 m. En dessous de 1,32 m, la mare est pleine mais l'eau ne s'écoule plus, le seuil routier aval étant alors dénoyé.
- en utilisant la méthode des jaugeages continus au-delà de 1,50 m, quand la vitesse de la variation des hauteurs d'eau est trop rapide pour permettre un jaugeage complet. On procèda ainsi jusqu'à 1,80 m environ.

La plus forte crue de 1960 atteint la cote de 1,86 m ; on peut donc considérer comme bien connus les débits observés cette année-là.

Le tableau ci-après récapitule ces résultats de jaugeages.

Jaugeages effectués à la station de KOGHNERE

JAUGEAGES COMPLETS -

H en mètres	Q m ³ /s
1,32	0,00
1,37	0,39
1,41	0,58
1,42	1,02
1,47	1,81

JAUGEAGES CONTINUS -

H en mètres	Q m ³ /s
1,50	2,65
1,60	4,80
1,70	6,95
1,80	9,20

Il a permis le tracé de la courbe d'étalonnage (Graphique n° 5).

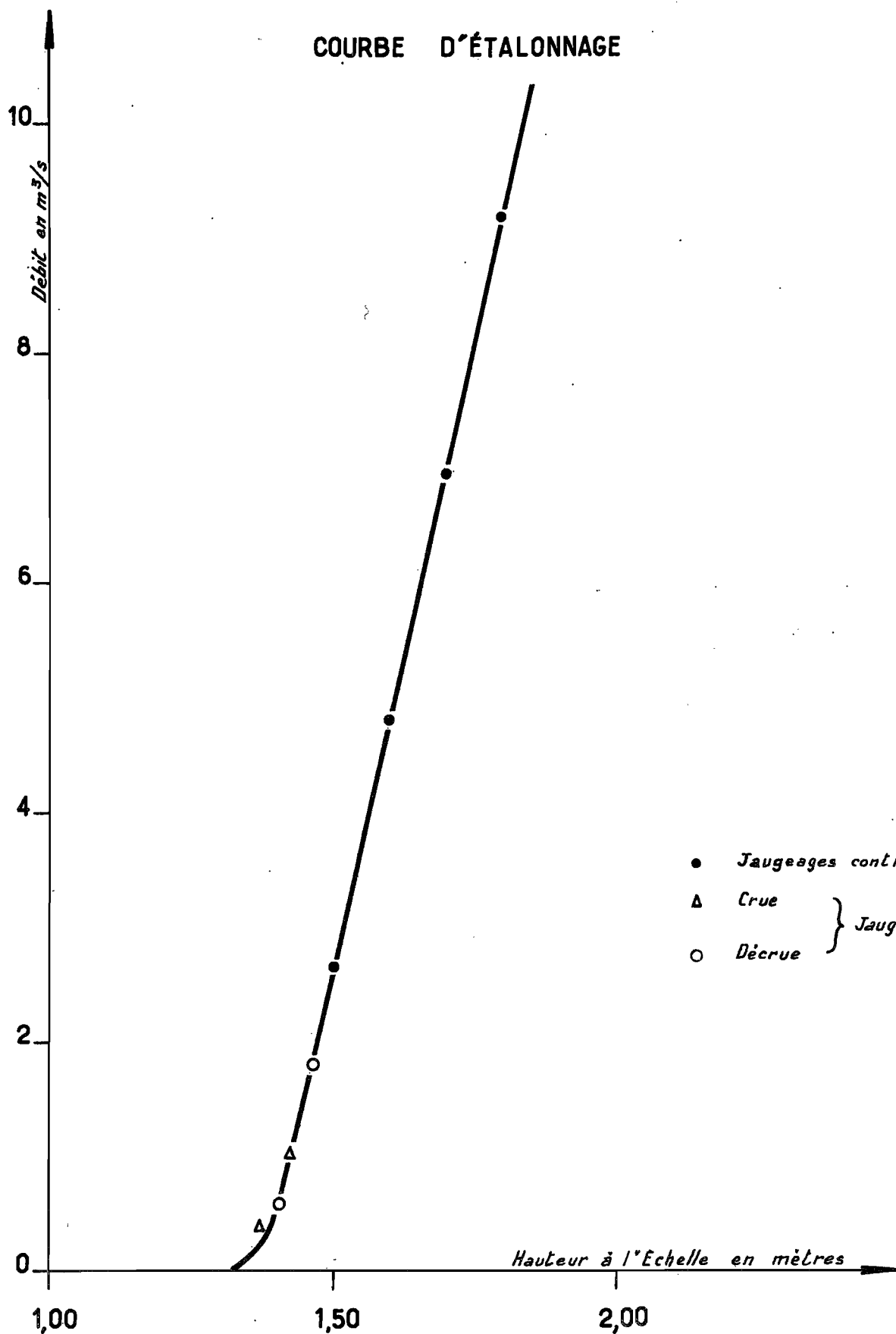
D'après les renseignements fournis par les villageois de KOGHNERE, on a pu estimer la cote des plus hautes connues à 2,46 m. A ce niveau, les débordements sur les deux rives sont importants. Le débit a été estimé à 32 m³/s avec une précision modérée. Pour ce faire, on a utilisé la courbe des vitesses moyennes connues en-dessous de 1,80 m et celle de la section mouillée aisément mesurable pour H = 2,46 m (Graphique n° 6).

4.2 - Averses et crues observées :

Si l'on se reporte aux tableaux 4 à 9 (Annexe), on y verra le nombre et l'importance des averses observées au cours du 3ème trimestre de 1960. A titre d'exemple, nous avons envisagé les relevés du pluviographe n° 1 qui occupe une position centrale dans le bassin du NIEBSDODE. Le tableau ci-après classe ces relevés :

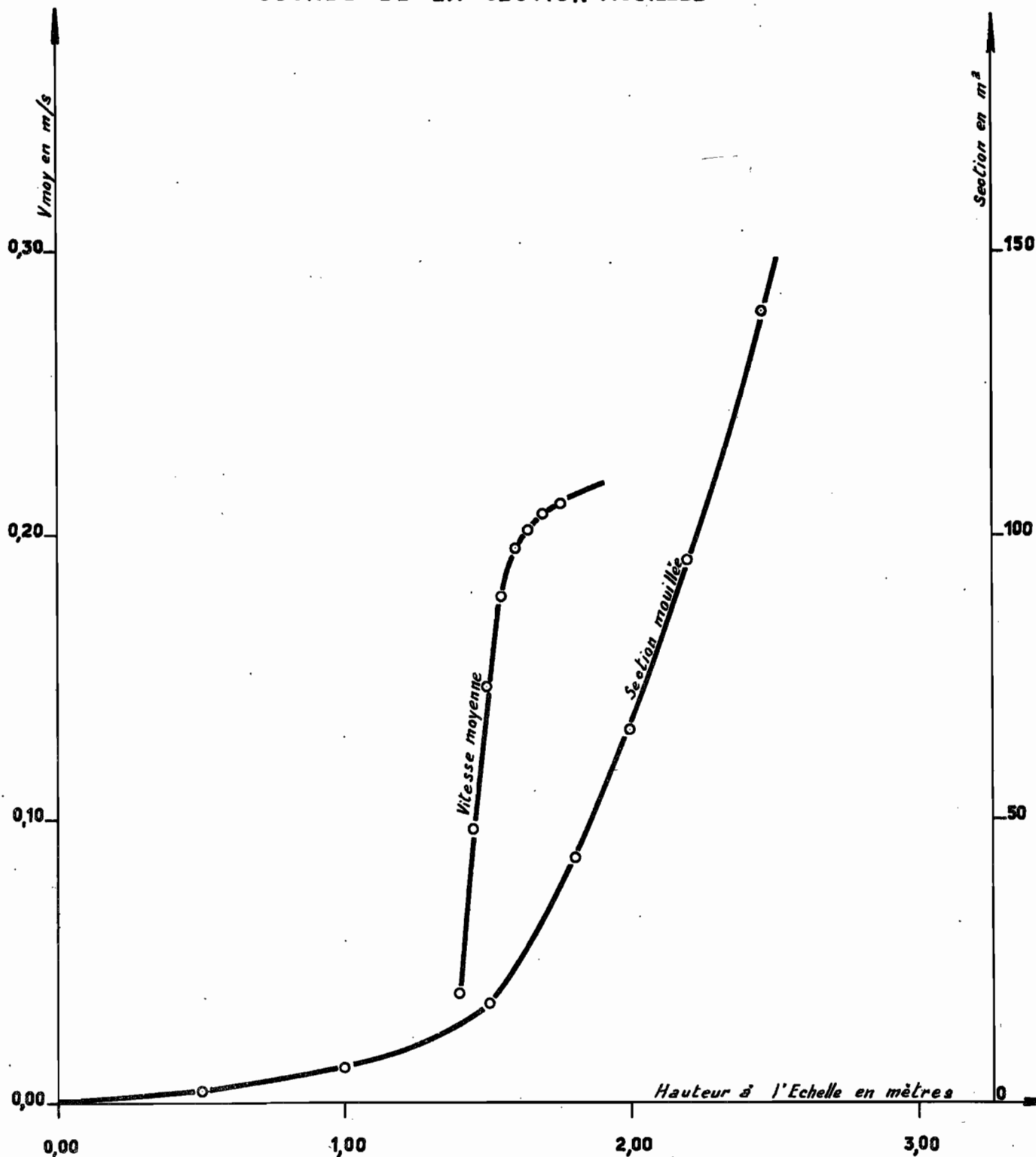
Pluies	Juillet	Août	Septembre	3ème trim.
0 - 10 mm	7	7	6	20
10 - 20	2	1	6	9
20 - 30	4	2	1	7
30 - 40	2	1	-	3
40 - 50	0	1	-	1
50 - 60	1	-	-	1
Total	16	12	13	41

COURBE D'ÉTALONNAGE



Le NIEBSDODÉ à KOGHNÉRÉ (Station n° 1)

COURBE DES VITESSES MOYENNES
COURBE DE LA SECTION MOUILLÉE



Sur ces 41 averses, si l'on met de côté les petites précipitations inférieures à 10 mm, il en reste une vingtaine qui ont donné lieu à des ruissellements sur le terrain, parmi lesquelles seulement 7 ont été suivies d'écoulements généralisés à la station de KOGHNERE, c'est-à-dire lorsque la précipitation moyenne excédait 25 mm environ. Les fortes averses se sont produites en Juillet et Août. Aucune n'est exceptionnelle, tant en ce qui concerne la hauteur que les intensités:

- Celle du 17 au 18 Juillet, avec un total de 58 mm, est en fait une averse double présentant un arrêt d'une heure à peu près en son milieu.

- Celle du 1er Août, si elle ne donne que 43,5 mm au P 1, est cependant la plus importante de l'année. L'impact maximal a été observé au P 2 avec 62,1 mm. Après une courte rafale préliminaire, l'averse intense se déclenche environ 1/4 d'heure plus tard et durera moins d'une heure ; une traîne notable de 1 h 1/2 clôt la pluie.

Ces deux averses sont évidemment responsables des deux principales crues de l'année atteignant des débits maximaux respectifs de 10,5 et 7,2 m³/s. On trouvera en annexe, pour ces deux averses, les cartes des isohyètes, les hyétogrammes originaux et moyens, les hydrogrammes de crue.

On n'a pu observer que 4 autres crues dont le débit de pointe excède 1 m³/s. C'est avec ce maigre échantillon de 6 crues que nous allons essayer de définir l'allure du ruissellement sur le bassin.

4.3 - Caractéristiques des principales crues :

Les quelques remarques formulées à l'égard de la dégradation du réseau hydrographique (cf. Chapitres 1.3) permettent de prévoir les particularités de l'écoulement.

Le 1er Juillet, après une pluie courte et intense d'environ 20 mm tombant sur un sol sec, on observa à KOGHNERE une légère montée à 0,10 m correspondant au remplissage partiel de la mare dû au ruissellement localisé. Il n'y eut ni mise en eau complète du lit mineur, ni écoulement généralisé.

Le 2 Juillet, une nouvelle tornade de 25 à 30 mm donne lieu à un net ruissellement qui conduit au remplissage de toutes les mares du lit mineur et à un léger débordement du surplus, au-delà de 1,50 m à l'échelle. L'écoulement

généralisé cesse 8 à 10 heures plus tard, les seuils se dénoyant, les mares restant pleines.

A partir de ce moment, le chapelet de mares occupant le lit mineur est toujours plus ou moins en eau. A chaque crue, il y a débordement et écoulement. Un certain régime hydrologique quasi régulier s'est établi ; il lui correspond une relation hauteur-débit univoque valable pour le reste de l'année et pour des cotes supérieures à 1,30 m. Seule la 1ère crue échappe à la connaissance, le volume du remplissage des mares ne pouvant être estimé correctement puisqu'il est relatif au marnage entre 0 et 1,30 m à l'échelle, mais c'est là quantité négligeable.

Les hydrogrammes des 6 principales crues ne sont ni homogènes, ni affines. Ils présentent souvent une première montée, se produisant environ 1/2 h après le début de l'averse intense. Le flot de crue survient ensuite et le débit maximal est atteint au bout de 2 1/2 h à 3 h. Le tarissement est beaucoup plus long ; il dure 7 à 8 heures pour une petite crue (ex : 1 et 2) mais peut se prolonger encore une dizaine d'heures si l'écoulement est important (ex : 3 et 5).

Douze à vingt heures après le début du ruissellement, celui-ci cesse. En dehors de cette dissymétrie accentuée, les hydrogrammes du NIEBSDODE ont une autre particularité : on ne décèle pas de cassure sur aucun des 6 tarissements permettant de séparer l'écoulement hypodermique du ruissellement. La structure du réseau hydrographique est certainement responsable de cet état de fait. Nous avons donc uniquement calculé le volume d'écoulement global et le coefficient correspondant par rapport à la pluie moyenne.

On trouvera dans le tableau n° 10, page suivante, toutes les valeurs caractéristiques de ces 6 crues, à savoir :

- les pluies moyennes P_{moy} et maximale ponctuelle P_M avec le coefficient de réduction K pour passer de la 2ème à la 1ère;
- les données relatives à la pluie utile (hauteur P_u , durée t_u , intensité moyenne I_u), c'est-à-dire la fraction de l'averse dont les intensités sont assez élevées pour avoir donné lieu à ruissellement.
- l'intervalle de temps t_a à la pluie précédente, indice du déficit de saturation des terrains.

TABLEAU N° 10

VALEURS CARACTERISTIQUES des CRUES du NIEBSDODE à KOHNERE
(21,5 km²)

N°	Date	PM mm	K	P _{moy} mm	P _u mm	I _u mm/h	t _u	t _a j	V _e 10 ³ m ³	K _e %	t _m h	t _p h	Q _M m ³ /s
1	6-7	56,4	59	33,4	28,2	38	45	4	58,8	8,2	2	2	4,8
2	17-7	39	69	27	25,6	81	19	1	56,1	9,7	3	3 h.20	4,1
3	17-7	58	72	41,9	-	-	-	1 1/2	227	25,2	3 h.10	2 h.55	10,5 ⁽¹⁾
5	1-8	62,1	77	47,8	32	36	54	2 *	142	13,8	(2 h.5)	4 h	7,2
6	4-8	20,7	68	14	-	-	-	1/2	25,8	8,6	1 h.20	6	1,4
8	5-9	34	78	26,6	25	48	31	1 1/2	39,3	6,9	2 h.40	6 h.40	1,9

* Pluie préliminaire moins de 3 heures avant l'averse

(1) Averse double. Le t_p correspond à la 1ère averse qui donne la pointe de crue

t_a : 4 plus de 20 mm de pluie 4 jours avant.

- les volumes V_e et les coefficients d'écoulement K_e
- les temps de montée t_m et de réponse t_p des crues.
- les débits maximaux Q_M .

Les temps de réponses des crues (durée séparant le milieu de l'averse utile du maximum de la crue) sont :

- soit voisins des temps de montée - 3 heures environ - si les averses sont fortes ou centrées sur l'aval du bassin (averses 1 et 2),
- soit plus longs si les averses sont faibles (n° 6 - 8) ou centrées sur l'amont (n° 3).

Ils atteignent alors 4 heures pour la crue n° 3 et 6 h pour les crues n° 6 et n° 8 qui ressemblent d'ailleurs plus à des écoulements hypodermiques ou à des ruissellements localisés.

Comme nous l'avons déjà dit, les 6 hydrogrammes sont hétérogènes ; il n'est pas possible d'en extraire un diagramme type de ruissellement caractéristique du bassin et produit par une averse unitaire.

D'ailleurs, il n'y a guère que la crue n° 5 qui puisse prétendre être unitaire ; or, son débit maximal ramené à un volume unité ($5,1 \text{ m}^3/\text{s}$ pour $100\ 000 \text{ m}^3$) est :

- soit équivalent à ceux d'écoulements à tendance hypodermique comme les crues 6 et 8 ($5,4$ et $4,8 \text{ m}^3/\text{s}$) ou bien à celui de la crue 3 qui résulte d'une averse double ($4,6 \text{ m}^3/\text{s}$),
- soit inférieur à ceux des crues 1 et 2 qui sont faibles mais proviennent d'averses centrées sur KOGHNERE ($8,2$ et $7,4 \text{ m}^3/\text{s}$).

Dans ces conditions, il nous est difficile d'affirmer l'existence d'une forme typique d'hydrogramme pour le NIEBSDODE et encore plus d'en esquisser l'allure. En première approximation, on pourra prendre :

- 3 heures pour le temps de montée
- 18 à 20 heures pour le temps de ruissellement
- $6 \text{ m}^3/\text{s}$ de débit maximal pour $100\ 000 \text{ m}^3$ d'écoulement

Précisons bien que ces chiffres sont des estimations susceptibles de subir une très importante correction après la campagne 1961.

Quelle est la part du volume des précipitations qui s'écoule ? Elle est notable en dépit de la faiblesse des pentes et des pertes par stagnation et évaporation. Pour des petites averses de 15 à 35 mm, on trouve des coefficients d'écoulement de 6 à 10 %.

Le maximum observé (25,2 %), celui de la crue n° 3, résulte de conditions éminemment favorables : l'averse n° 3 se produit 12 h après la n° 2 et juste quand s'achève l'écoulement de cette crue, donc sur un bassin complètement saturé. Si au lieu d'une averse double avec 1 heure d'accalmie, nous avions eu une pluie unique, le débit maximal aurait pu dépasser 10,5 m³/s. L'averse était de fréquence sensiblement annuelle (58 mm au maximum, 41,9 mm en moyenne). C'est une averse comparable qui donne seulement 13,8 % d'écoulement le 1er Août, car le sol est moins saturé ($t_a = 2$ jours). L'écart va du simple au double ; il représente sensiblement les limites de saturation les plus probables pour une averse annuelle ; il en serait vraisemblablement de même pour une précipitation plus exceptionnelle.

4.4 - Estimation des crues exceptionnelles :

Pour la crue annuelle, nous disposons de celles des 17/7 et 1/8 qui sont dues à des précipitations de fréquences sensiblement annuelles. Nous venons de montrer l'écart qui sépare ces 2 crues en ce qui concerne l'importance de l'écoulement selon la saturation préalable des terrains.

La fourchette est assez grande ; il nous est difficile de la réduire avec le peu d'informations dont nous disposons.

En première approximation, nous dirons que le débit maximal doit se placer entre 350 et 450 l/s.km².

Suivant l'état de saturation, les volumes écoulés oscilleront de 150 000 m³ à 230 000 m³.

Pour la crue décennale, nous ne pouvons donner que des ordres de grandeur, en considérant les éléments suivant comme les plus probables :

- averse moyenne de 100 mm (correspondant à un maximum ponctuel de 110 mm)
- coefficient d'écoulement de 25 %
- volume écoulé d'environ 550 000 m³ à 650 000 m³
- débit maximal compris entre 30 et 35 m³/s
- durée de l'écoulement d'au moins 20 à 25 heures

Le débit spécifique de crue s'inscrirait donc dans la fourchette de 1400 à 1600 l/s.km².

Rappelons que les plus hautes eaux connues par les villageois correspondaient à un débit estimé à 32 m³/s. Il est tout à fait plausible que nous retrouvions un chiffre voisin pour l'estimation de la crue décennale.

Inutile de vouloir, après une première campagne, émettre des hypothèses quant à la crue cinquantenaire.

4.5 - Bilan annuel :

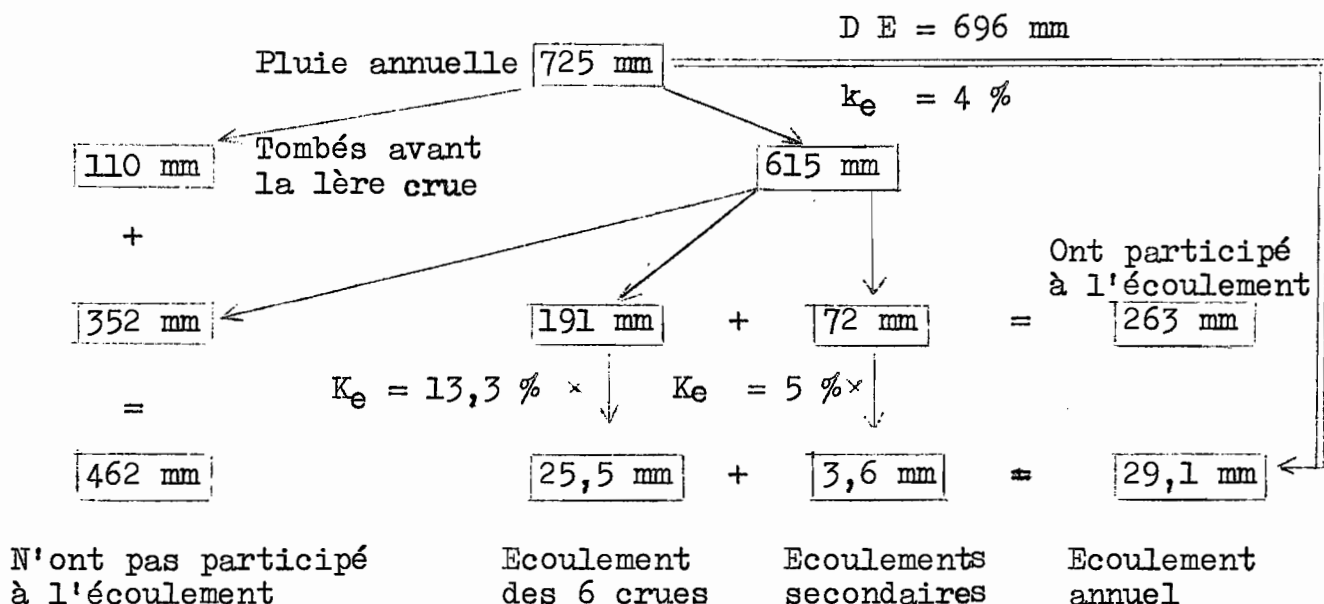
L'écoulement total en 1960, circonscrit au 3^{ème} trimestre, s'élève à 625 500 m³, soit 29,1 mm de lame d'eau. Pour cette même période, la pluie moyenne ayant été estimée à 615 mm (Chapitre 3.2), le coefficient d'écoulement global ressort à 4,7 %.

On constatera qu'il est nettement plus faible que ceux des 6 principales crues de 1960. Ces derniers coefficients étant relativement élevés, ce qui s'explique par la faible perméabilité des sols du bassin, on ne peut arriver à un coefficient annuel de 4,7 % que si une très forte partie des faibles ou moyennes averses stagne sur le sol ou dans les bas-fonds, puis s'évapore.

On constate, en outre, qu'à elles seules les 6 crues analysées au paragraphe précédent ont fourni 549 000 m³ d'écoulement (ou 25,5 mm de lame d'eau), soit près de 88 % de l'écoulement annuel. Et cela résulte uniquement de 6 averses totalisant 191 mm, soit seulement 31 % des précipitations du 3^{ème} trimestre.

Si l'on admet que les autres petits écoulements ayant assuré l'appoint à $625\ 000\ m^3$, soit $76\ 500\ m^3$ ou $3,6\ mm$ de lame d'eau, correspondent à des averses faibles ou tombant sur sol sec, on les affectera d'un coefficient d'écoulement moyen de $5\ \%$, ce qui conduit à un total de $72\ mm$ de pluie.

Le tableau suivant résume le bilan annuel, sachant que la pluviométrie totale a été estimée à $725\ mm$, les $110\ mm$ tombés au cours du 2ème trimestre n'ayant pas donné d'écoulement.



Près des $2/3$ du total des précipitations annuelles, soit $462\ mm$, n'ont aucunement pris part à l'écoulement. Les $110\ mm$ tombés au 2ème trimestre se sont, soit évaporés, soit infiltrés pour rétablir la saturation en eau des sols. Les $352\ mm$, tombés au cours du 3ème trimestre, ont participé un peu au maintien de cette saturation et au remplissage des mares, mais surtout ils se sont évaporés. On estime en moyenne, sous la latitude de BOULSA, à $3,5\ mm/jour$ l'évaporation d'une nappe d'eau libre durant le 3ème trimestre ; si l'on considère égale

l'évapotranspiration du bassin, on arrive à 320 mm, soit la quasi-totalité des 352 mm.

Pour clore le déficit d'écoulement de 696 mm, il reste 234 mm provenant d'averses ayant participé à l'écoulement mais qui, eux, ne se sont pas écoulés. Cette lame d'eau, tout en participant au maintien de la saturation et au remplissage du lit, représente la fraction des averses intenses qui n'a pas ruisselé. L'évapotranspiration du bassin ayant été affectée aux 352 mm précédents, ces 234 mm sont disponibles pour l'infiltration profonde servant à la réalimentation des nappes.

Mais, pratiquement, étant donné la faible perméabilité des terrains superficiels, seulement une petite fraction de cette lame d'eau pourra s'infiltrer profondément. La plus forte part imbibera les horizons supérieurs du sol et constituera les mares en fin d'hivernage. Ces eaux seront, après Octobre, reprises par évaporation directe des mares, par évaporation du sol et par consommation des végétaux.

Ainsi peut-on ébaucher, pour conclure, la destination probable en % des pluies de 1960 :

- | | | | |
|--|---|------|---|
| - écoulement | : | 4 % | (coefficient pour une année moyenne) |
| - évapotranspiration | : | 53 % | { 69 % Evapotranspiration définitive |
| - saturation des sols
remplissage des mares | : | 16 % | |
| - infiltration | : | 27 % | (maximum disponible ; pratiquement 5 à 10 % au plus alimenteront réellement les nappes) |

Il ne s'agit évidemment que d'ordres de grandeur.

5 - ANALYSE des CRUES de la POGORAYA à KOGHO (82 km²) -

5.1 - Mesure des débits :

Au droit de la section de contrôle, l'eau stagne jusqu'à la cote 1,50 m. L'écoulement n'existe que pour des cotes supérieures. La rapidité de variations du niveau de l'eau pendant les crues a nécessité la réalisation d'une grande série de jaugeages continus qui ont permis l'étalonnage du marnage compris entre 1,50 m et 2,00 m.

On a observé, en 1960, deux crues atteignant 2,05 m, et une autre 2,37 m. Pour cette dernière, une extrapolation de la courbe d'étalonnage a été réalisée en utilisant les courbes des vitesses moyennes et de la section mouillée (graphiques n° 7 et 8).

Jaugeages effectués à la station de KOGHO

JAUGEAGES CONTINUS -

H en m	Q m ³ /s
1,60	0,96
1,70	3,58
1,80	6,66
1,90	9,88
2,00	15,1

VALEURS CALCULEES à PARTIR de la COURBE des VITESSES MOYENNES -

H en m	Q m ³ /s
2,10	20,8
2,20	27,4
2,30	34,6
2,35	38,8

Le débit maximal mesuré est de $15,1 \text{ m}^3/\text{s}$; pour $2,37 \text{ m}$ on a évalué l'écoulement à $40,5 \text{ m}^3/\text{s}$ avec une précision modérée.

Renseignements pris auprès de la population de KOGHO, on a pu retrouver la cote maximale atteinte en 1959, soit $2,56 \text{ m}$ et la cote des plus hautes eaux connues, soit $2,64 \text{ m}$. La prolongation de la courbe d'étalonnage permet d'allouer, en première approximation, des débits de 57 et $65 \text{ m}^3/\text{s}$ à ces 2 niveaux d'eau.

5.2 - Averses et Crues observées :

La répartition des averses observées au cours du 3ème trimestre peut se faire en examinant les relevés du pluviomètre n° 9 qui occupe une position assez centrale dans le bassin de la POGORAYA.

Le tableau suivant donne les fréquences des pluies classées.

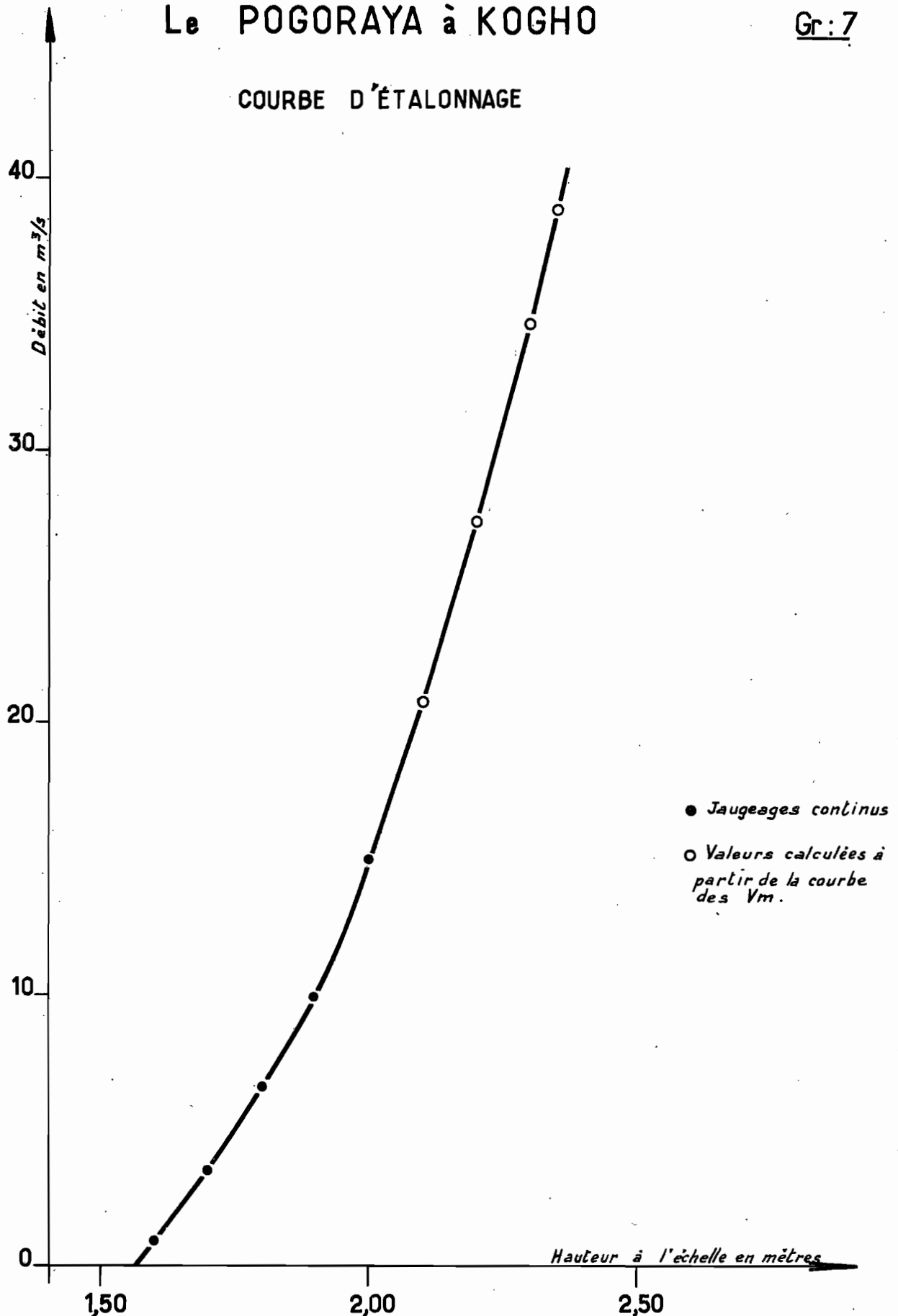
: Pluies :	: Juillet :	: Août :	: Septembre :	: 3ème Trim. :
: 0 - 10 mm :	: 6 :	: 4 :	: 3 :	: 13 :
: 10 à 20 :	: - :	: 3 :	: 5 :	: 8 :
: 20 à 30 :	: 4 :	: 1 :	: 2 :	: 7 :
: 30 à 40 :	: 2 :	: 1 :	: :	: 3 :
: 40 à 50 :	: 2 :	: 1 :	: :	: 3 :
: 50 à 60 :	: 1 :	: - :	: :	: 1 :
: 60 à 70 :	: :	: 1 :	: :	: 1 :
: Total :	: 15 :	: 11 :	: 10 :	: 36 :

Par rapport au pluviographe 1 (Chapitre 4.2) on a observé 5 pluies de moins, presque toutes inférieures à 10 mm , ce qui montre simplement que l'on peut avoir 10% environ des précipitations qui n'affectent que l'un des 2 pluviomètres distants de 6 km entre eux.

Le POGORAYA à KOGHO

Gr: 7

COURBE D'ÉTALONNAGE



ÉLECTRICITÉ DE FRANCE INSPECTION GÉNÉRALE POUR LA COOPÉRATION HORS MÉTROPOLE

C: TUBE

AO

DATE: 9-61

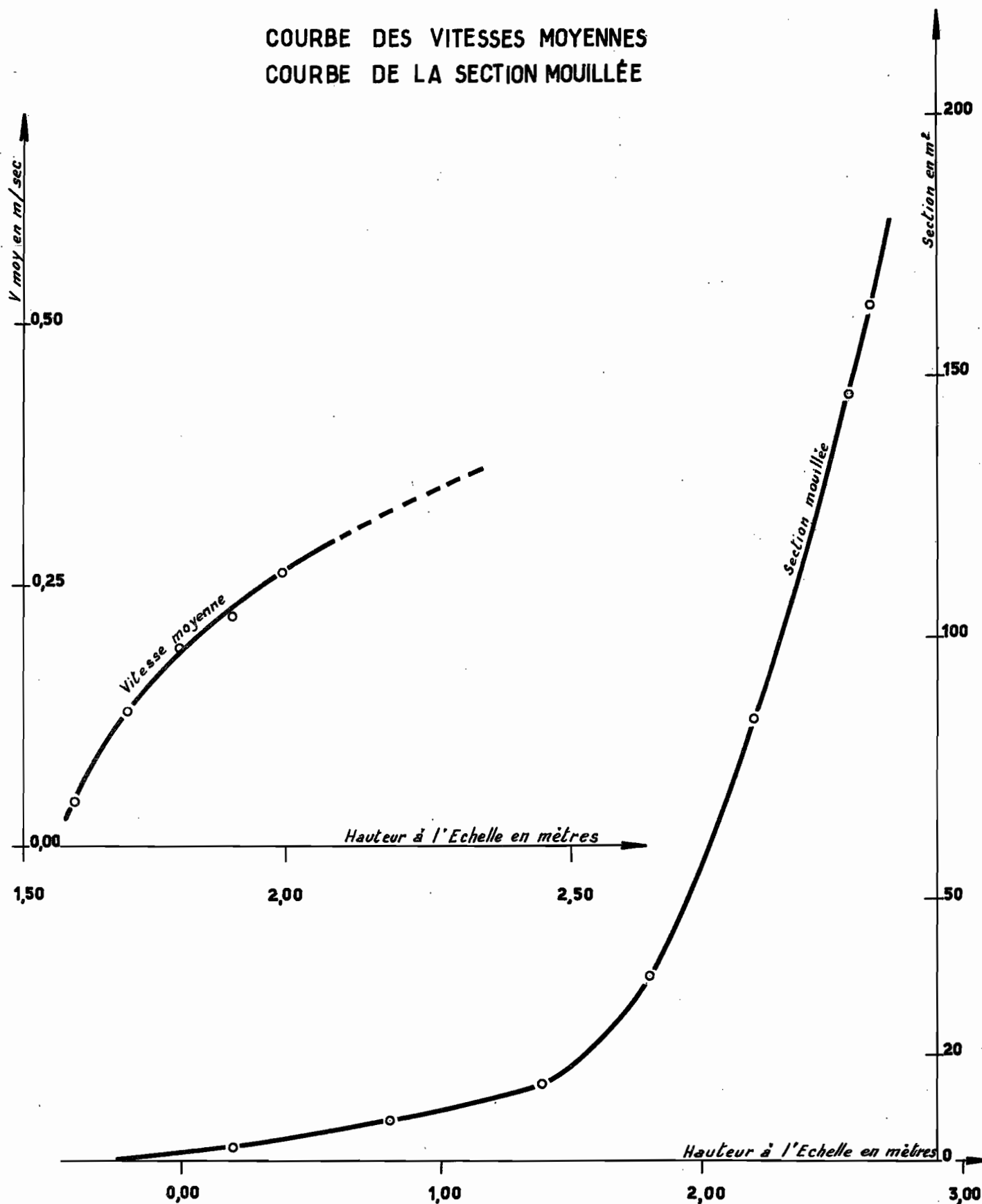
DESSINÉ: J. Métayer

EON

|||

VOL. 61.007

COURBE DES VITESSES MOYENNES COURBE DE LA SECTION MOUILLÉE



Entre ces deux séries de relevés, on compte environ une vingtaine d'averses supérieures à 10 mm qui, comme sur le bassin du NIEBSDODE, ont donné lieu à ruissellement sur le terrain, dont seulement 8 furent suivies d'écoulements généralisés à KOGHO.

Les fortes averses sur le bassin de la POGORAYA sont aussi celles de Juillet et d'Août, et les mêmes que sur le petit bassin.

Le 17 Juillet, on enregistre 59,7 mm au P 9, mais il s'agit d'une averse multiple. Même chose le lendemain 18 où l'impact maximal de 58,5 mm affecte le P 14 (50 mm au P 9), total dû à 2 pluies espacées de 3 heures.

Le 1er Août, on relève 65,7 mm au P 9, mais la hauteur maximale atteint 81,7 mm au P 8. Cette averse unique est assez belle ; elle a duré environ 3 heures se composant de 2 courtes rafales au cours de l'ondée préliminaire suivies d'un corps à forte intensité (80 mm/h pendant 20' environ) et d'une traîne conséquente de 1 heure 1/2. Des intensités supérieures avaient été enregistrées les 6 et 17 Juillet pour des averses moins importantes (Chapitre 2.2.4).

Les 17 et 18 Juillet, les crues ont atteint 17,6 m³/s de débit de pointe, valeur nettement dépassée le 1er Août où s'écoulaient 40,5 m³/s.

On trouvera en annexe pour ces 3 averses les cartes d'isohyètes, les hyétogrammes originaux et moyens et les hydrogrammes de crue.

On a observé seulement 3 autres crues débitant plus de 1 m³/s, comme pour le NIEBSDODE.

5.3 - Caractéristiques des principales crues :

L'écoulement présente les mêmes particularités que sur le NIEBSDODE, les réseaux hydrographiques étant affectés d'une dégradation comparable.

La première mise en eau annuelle a eu lieu le 2 Juillet, les terrains ayant été bien saturés par l'averse de la veille. Rappelons qu'à KOGHO, le seuil aval contraint l'eau à stagner sur 1,50 m au droit de l'échelle. A chaque crue, il y a débordement. Cette particularité explique pourquoi, tant sur la POGORAYA que sur le NIEBSDODE, la recherche d'un hydrogramme type est inutile. Plus une crue est importante, plus la

fraction débordante l'est et plus l'hydrogramme subit d'écrêtement et d'étalement. Il ne peut donc y avoir d'affinité entre 2 hydrogrammes d'importance différente.

Autre particularité, intrinséquement liée au découpage du réseau hydrographique par les seuils : la durée de l'écoulement d'une crue est artificiellement limitée et tronquée dans sa phase de tarissement. On trouvera ainsi pour la POGORAYA des durées équivalentes à celles du NIEBSDODE, bien que le bassin drainé soit 4 fois plus étendu. Celles-ci oscillent entre 12 et 20 heures pour les 4 principales crues de 1960.

Comme pour le NIEBSDODE, l'écoulement cesse après chaque crue, et cela sans qu'apparaisse la moindre cassure sur la courbe de tarissement. Enchevêtrement des phases "ruissellement" et "hypodermique" dues au débordement qui retarde une partie des eaux de la 1ère phase, et tronquage de l'écoulement causé par la forme du lit mineur, suffisent à expliquer cette autre particularité de l'hydrogramme.

Les hydrogrammes ont des formes variant avec la position de l'impact du maximum de précipitation : rapide si l'averse est centrée à l'aval, molle si elle affecte les zones éloignées de l'exutoire.

Les temps de montée se groupent autour de 5 heures pour les fortes crues. Les temps de réponse sont du même ordre de grandeur, mais semblent nettement affectés eux aussi par le centrage de l'averse.

On trouvera, dans le tableau n° 11, les résultats d'analyse des 6 principales crues de 1960 présentés comme pour le NIEBSDODE. On y observe avec facilité le rôle et l'influence de la saturation des terrains sur l'importance des crues. En effet, cinq des six crues proviennent d'averses sensiblement comparables : 50 à 60 mm de hauteur maximale ponctuelle, 35 mm environ de pluie moyenne.

L'averse n° 1 tombe sur un sol sec ($t_a = 4 \text{ j}$) et donne une petite crue (3,6 % d'écoulement) parce qu'elle était centrée sur l'aval du bassin.

L'averse n° 2 rencontre un sol mieux saturé ($t_a = 1 \text{ j}$) : l'écoulement est 3 fois plus abondant (9,2 %).

TABLEAU N° 11

VALEURS CARACTERISTIQUES des CRUES de la POGORAYA à KOGHO

(82 km²)

N°	Date	P _M en mm	K %	P _{moy} mm	P _u mm	t _u mn	I _u mm/h	t _a j	V _e 10 ³ m ³	K _e %	t _m h	t _p h	Q _M m ³ /s
1	6-7	56,4	60	33,6	26,3	36	44	4	99,5	3,6	3 h50	4 1/4	6,2
2	17-7	52	69	36	35,2	35	60	1	273	9,2	5 h20	5 1/2	14,3
3	17 au 18-7	58	64	37	(33,3)	(90)	(22)	1/2	403	13,3	3 h20	(4 3/4)	17,6
4	18 au 19-7	58,5	64	37,2	19,5	19	62	1 *	467	15,3	5 h	4 3/4	17,6
5	1-8	81,7	74	60,1	48,5	62	47	2 *	819	16,6	5 h	5 1/4	40,5
7	25-8	60,7	64	38,9	29,7	35	51	3	53,4	1,7	3 h30	12 1/2	2,8

* Pluie préliminaire 3 heures avant l'averse

(1) Averse double

L'averse n° 3 survient quand s'achève la crue précédente : le sol est on ne peut mieux saturé. L'écoulement s'élève à 13,3 %. La pointe de crue de 17,6 m³/s n'est due qu'à la première partie de l'averse, ce qui explique qu'elle n'outrepasse guère les 14,3 m³/s de la crue n° 2.

L'averse n° 4 survient le lendemain, sur un sol bien saturé par une pluie préliminaire. La fraction utile est assez faible mais très intense et entraîne une crue également de 17,6 m³/s de pointe ; l'écoulement atteint 15,3 % parce que l'averse était centrée sur l'aval. En effet, les deux précédentes (n° 2 et 3) affectaient l'Ouest du bassin en priorité. Etant donné la structure hydrographique, plus une averse est centrée loin de l'exutoire, plus les risques de pertes et de freinage par débordement sont grands. Ainsi s'explique l'abondance relative de la crue n° 4 dont l'averse n'était pas plus "ruisselante" a priori que la n° 3.

Enfin, l'averse n° 7 est à comparer à la première puisqu'elle rencontre aussi un sol ressuyé. Or, elle donne lieu à un écoulement hypodermique insignifiant : 1,7 % contre 3,6 % et 2,8 m³/s de pointe contre 6,2.

Deux explications :

- a) la couverture végétale inexistante le 6 Juillet joue un rôle modérateur non négligeable le 25 Août ;
- b) surtout joue le fait que l'averse n° 7 affectant l'Ouest du bassin, les eaux de ruissellement ont subi de lourdes pertes avant d'atteindre l'exutoire.

Dans l'ensemble, les coefficients d'écoulement s'apparentent à ceux du bassin de KOGHNERE, quoique légèrement plus faibles car, toutes proportions gardées, les risques de pertes sont plus grands. La plus forte valeur relevée en 1960 est le fait de l'averse du 1er Août, nettement plus abondante que les cinq autres. Avec 81,7 mm de maximum ponctuel, elle est voisine de la fréquence quadriennale. L'état de saturation était moyen ($t_a = 2$ j et une pluie préliminaire). Le coefficient d'écoulement atteint 16,6 %, mais le débit maximal double par rapport à celui des crues 3 et 4, puisqu'on l'estime à 40,5 m³/s.

5.4 - Estimation des crues exceptionnelles :

Presque toutes les averses examinées au paragraphe précédent ont un maximum ponctuel justiciable de la fréquence annuelle. On pourrait peut-être arguer que l'abattement est sévère avec des coefficients K allant de 60 à 69 %. Nous avons observé toutes les gammes de saturation ; retenons-en les valeurs moyennes et fortes pour présenter l'éventail possible d'une crue annuelle notable. Les éléments de celle-ci seraient les suivants :

- temps de montée de 4 à 5 heures,
- durée de l'écoulement entre 15 et 20 heures,
- volume de l'écoulement compris entre 400 et 500 000 m³ (K_e voisin de 15 %),
- débit maximal d'environ 15 à 18 m³/s.

Le débit spécifique moyen peut être pris égal à 200 l/s.km².

Toutes ces données sont évidemment déduites des seules observations de 1960, elles peuvent subir certaines corrections après la campagne 1961.

Pour l'estimation de la crue décennale, bien que nous disposions de l'élément d'information dû à la crue n° 5 du 1er Août, nous aurons quelques difficultés à en préciser les caractéristiques. Restons-en aux aspects les plus probables qu'elle puisse revêtir:

- averse moyenne de 100 mm (maximum ponctuel de 110 mm)
- coefficient d'écoulement de 16 à 25 % suivant la saturation,
- volume écoulé compris entre 1 300 000 et 2 000 000 m³,
- débit maximal pouvant aller de 65 à 80 m³/s,
- durée d'écoulement dépassant 20 heures,

On inscrira, en première approximation, le débit spécifique décennal dans la fourchette de 800 à 1 000 l/s.km².

Cette conclusion est en conformité avec les souvenirs des villageois de KOGHO qui nous avaient permis de fixer à 65 m³/s le débit correspondant aux plus hautes eaux connues.

5.5 - Bilan annuel :

Nous nous sommes livrés à un travail d'analyses suivant le plan adopté pour le bassin de KOGHNERE.

Pour une pluie moyenne de 650 mm, estimée pour le 3ème trimestre, l'écoulement total est de 2 214 600 m³, soit 27 mm de lame d'eau représentant seulement 4,2 % des précipitations.

Ces ordres de grandeur sont comparables à ceux du NIEBSDODE ; ils sont valables pour une année moyenne. La variation du coefficient d'écoulement avec l'abondance annuelle doit d'ailleurs affecter en priorité la part d'évapotranspiration sans beaucoup influencer celle de l'infiltration.

Il faut aussi signaler que le pourcentage retenu pour l'infiltration est un maximum, car les eaux accumulées dans les mares et bas-fonds après la saison des pluies ne s'infiltreront pas en totalité, l'évaporation les affecte aussi et ce jusqu'à épuisement total.

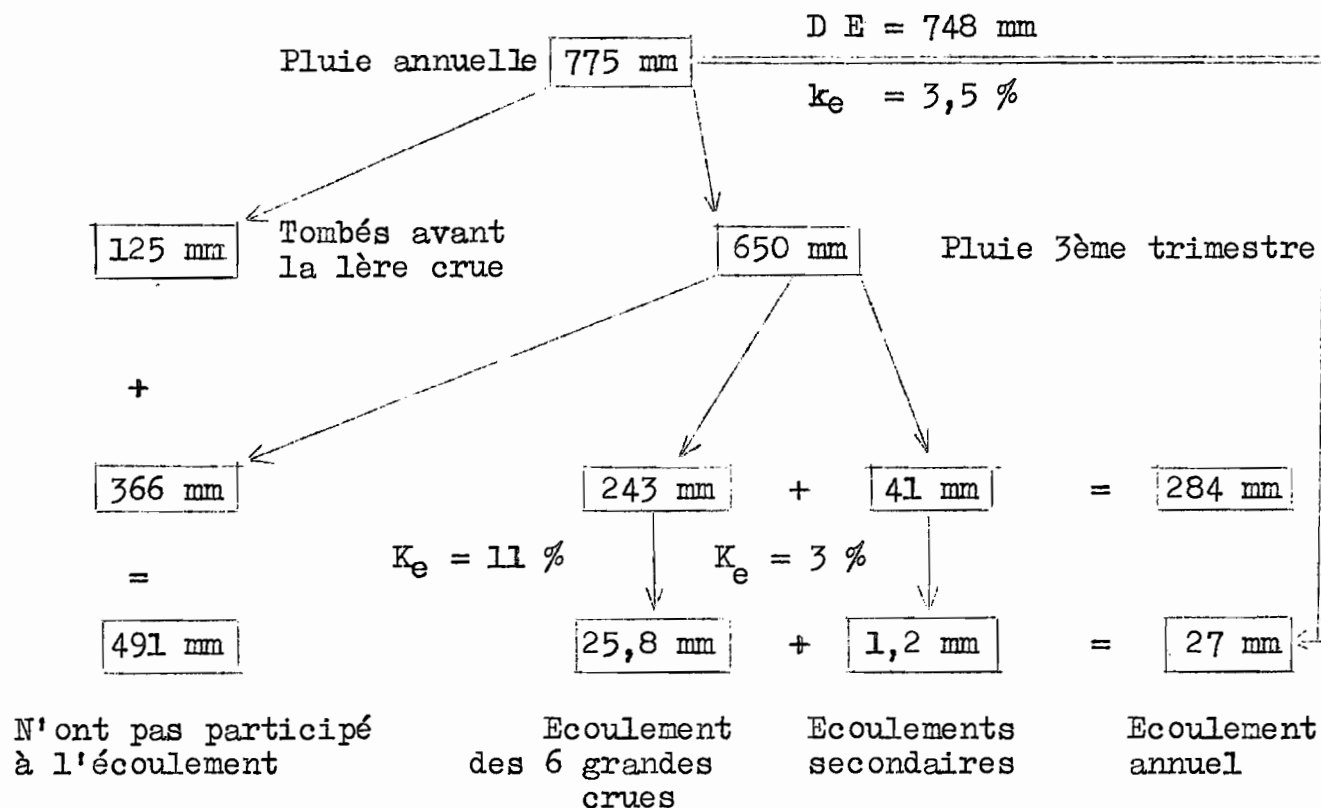
Comme nous l'avons dit pour le NIEBSDODE, ce sont seulement 5 à 10 % au plus de la pluviométrie qui s'infiltreront profondément vers les nappes ; la fraction restante du "disponible pour l'infiltration", soit 25,5 %, étant consommée par évaporation.

Coefficient qui s'abaisse à 3,5 % si l'on rapporte le volume écoulé à la pluviométrie totale de 1960, évaluée à 775 mm, aucun autre écoulement ne s'étant produit hors du 3ème trimestre.

Comme sur le bassin du NIEBSDODE, on remarquera que 95 % du volume écoulé - soit 2 114 900 m³ - proviennent de six crues seulement, lesquelles sont le fait de 37 % des pluies annuelles, soit 243 mm.

Si l'on accorde 3 % de coefficient moyen d'écoulement aux petites crues fournissant l'appoint - soit 99 700 m³ ou 1,2 mm de lame écoulée - on obtient 41 mm de pluie.

Ainsi peut-on dresser un tableau récapitulatif du bilan annuel :



Que peut-on dire du déficit d'écoulement annuel de 748 mm ? Il provient de deux séries de pluies bien distinctes :

- celles qui n'ont pas du tout participé à l'écoulement, soit 491 mm,
- celles qui ont participé à l'écoulement, soit 257 mm.

Dans la première série, on distingue :

- a) 125 mm tombés au 2ème trimestre, avant la première crue et qui se sont pour la majorité évaporés, une faible fraction servant au rétablissement de la saturation des sols ;
- b) 366 mm qui correspondent aux averses faibles du 3ème trimestre n'ayant pas engendré d'écoulement. Ces pluies ont concouru au maintien de la saturation des sols et au remplissage des mares du réseau hydrographique pour une faible part ; le reste s'est aussi évaporé. L'estimation faite pour KOGHNERE de 320 mm d'évapotranspiration, au cours du 3ème trimestre, peut s'appliquer ici aussi et recouvrir ainsi la presque totalité de cette série de pluies.

Dans la deuxième série de pluies, correspondant à 257 mm, il s'agit des fractions d'averses ayant donné lieu à ruissellement mais qui ne constituent pas la lame d'eau écoulée. Comme la série précédente, ces pluies ont servi au maintien de la saturation et au remplissage des mares. L'excédent, difficilement évaluable, représente la part disponible pour alimenter les nappes par infiltration.

Si l'on reconnaît enfin que les volumes d'eau participant au maintien de la saturation des sols et au remplissage des lits finissent par s'évaporer, on arrive à une répartition vraisemblable du déficit d'écoulement et, a fortiori, de la pluviométrie annuelle, exprimée en %:

- écoulement 3,5 %
- évapotranspiration globale 71 %
- infiltration 25,5 %

6 - ETUDE de l'ÉCOULEMENT du KOULOUOKO à NIEGHA (1010 km²) -

6.1 - Mesure des débits :

Au cours de cette première campagne 1960, nous avons porté notre effort sur les deux bassins expérimentaux. Il était convenu que des jaugeages seraient effectués au pont du KOULOUOKO en fonction du temps libre dont disposerait l'hydrologue.

En outre, la route depuis BOULSA n'était guère praticable après une forte averse et fut coupée plusieurs fois.

Malgré cela, 7 jaugeages complets effectués en dessous de 1,05 m ont permis l'étalonnage des basses et moyennes eaux. La précision semble satisfaisante en dépit des mauvaises conditions d'écoulement.

Cette cote de 1,05 m a été dépassée par 2 crues, dont celle du 19 Juillet qui atteint 1,60 m, maximum de 1960. L'extrapolation a été réalisée en utilisant les courbes de section mouillée et de vitesse moyenne (Graphique n° 9). Les résultats sont réunis ci-dessous :

Jaugeages effectués à la station de NIEGHA

JAUGEAGES COMPLETS -

H en mètres	Q m ³ /s
- 0,34	0,02
- 0,08	0,12
0,45	0,41
0,63	1,36
0,74	1,49
0,92	3,35
1,03	3,97

VALEURS CALCULEES à PARTIR de la COURBE des VITESSES MOYENNES -

H en mètres	Q m ³ /s
1,10	4,70
1,20	6,10
1,30	8,83
1,40	11,7

Ils ont permis le tracé de la courbe d'étalonnage (Graphique n°10). Les valeurs extrapolées peuvent être entachées d'une certaine marge d'erreur car l'apparition des débordements vers 1 m - 1,10 m entraîne un arrêt net dans la croissance des vitesses moyennes en fonction de la hauteur d'eau, ce qui rend les prévisions délicates pour des cotes supérieures.

Il sera malheureusement impossible de contrôler ces débits en 1961, l'Administration régionale ayant fait construire entre temps un radier bétonné et surélevé qui change entièrement l'écoulement du KOULOUOKO à NIEGHA.

En 1959, la cote maximale atteinte, selon des recoupements, équivaldrait à 2,80 m. Il est très difficile d'estimer le débit correspondant. Il doit être d'au moins 50 m³/s.

6.2 - Bilan hydrologique :

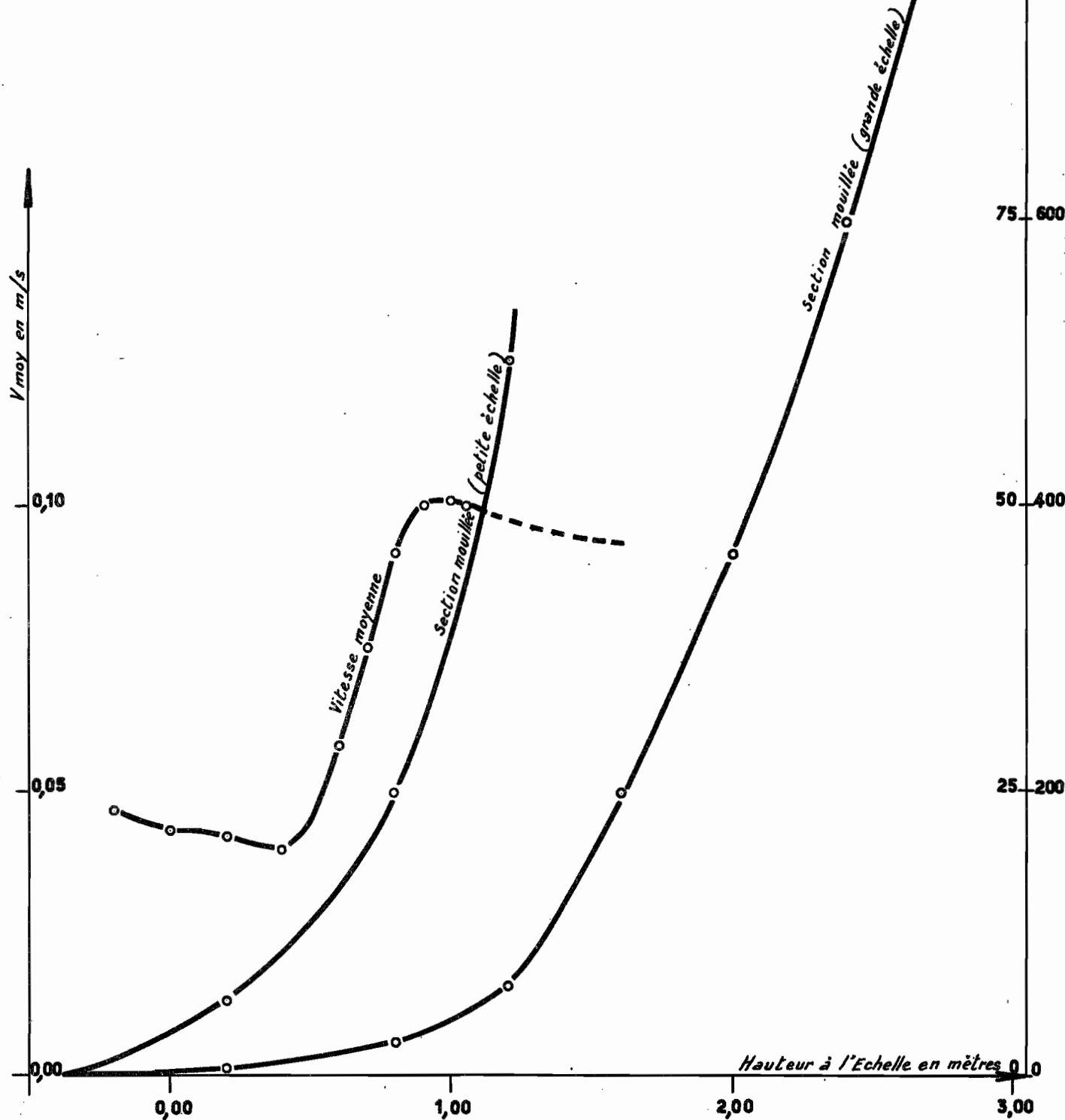
A NIEGHA, l'écoulement a commencé le 1er Juillet ; il s'est maintenu de façon permanente jusqu'au 4 Octobre.

On trouvera, ci-joint, le tableau n° 12 où figurent les débits moyens journaliers et le graphique n° 11 représentant l'écoulement annuel. Celui-ci se compose de 5 à 6 crues d'une durée moyenne de 10 jours entre lesquelles le débit moyen journalier, qui avait généralement dépassé 3 m³/s, redescend rapidement aux alentours de 1 m³/s ; ce tarissement s'accroît si les précipitations cessent pendant une semaine ; le débit tombe alors en-dessous de 100 l/s comme ce fut le cas les 18 et 19 Août et au début d'Octobre. L'arrêt de l'écoulement en 1960 s'est produit très rapidement ; la structure du réseau

Le KOULOUOKO à NIEGHA (Station n°3)

Gr: 9

COURBE DES VITESSES MOYENNES
COURBES DE LA SECTION MOUILLÉE



ÉLECTRICITÉ DE FRANCE. INSPECTION GÉNÉRALE POUR LA COOPÉRATION HORS MÉTROPOLE

CT TUBE

AO

DATE: 9-61

DESSINÉ: J. Métyer

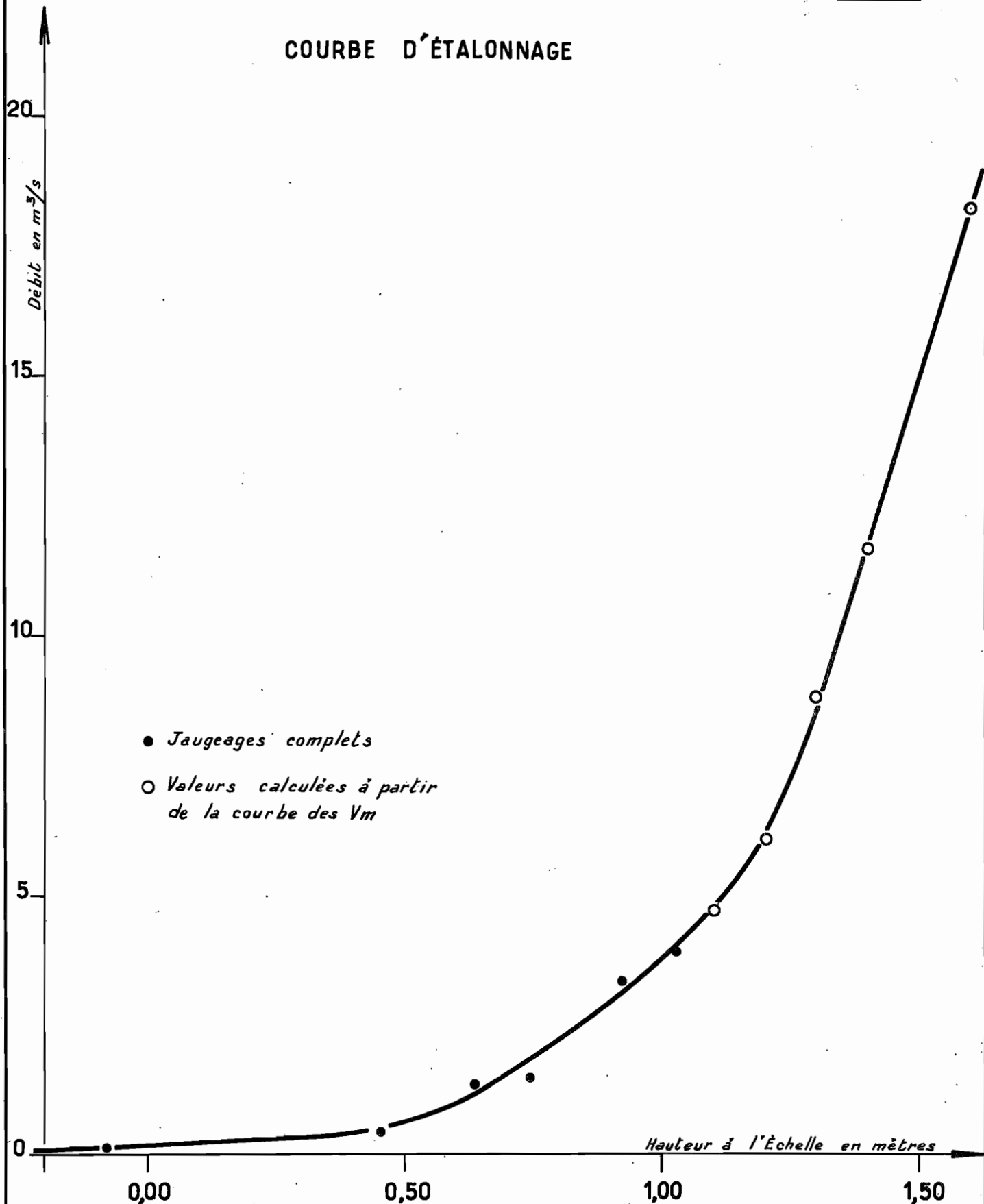
EON

VOL. 61.009

Le KOULOUOKO à NIEGHA

Gr : 10

COURBE D'ÉTALONNAGE



ÉLECTRICITÉ DE FRANCE - INSPECTION GÉNÉRALE POUR LA COOPÉRATION HORS MÉTROPOLE

C.TUBE

AO

DATE : 9-61

DESSINÉ : J. Métyer

EON

VOL. 61.010

DEBITS MOYENS JOURNALIERS en m³/s du KOULOUOKO à NIEGHA

en 1960

Jours	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre
1		0,200	0,650	2,800	0,200
2		0,500	0,650	2,950	0,150
3		0,650	6,250	2,650	0,100
4		0,650	6,700	2,050	0,050
5		0,650	4,500	1,600	
6		0,600	3,600	1,350	
7		0,350	3,000	1,450	
8		0,600	2,400	1,750	
9		2,100	1,950	1,750	
10		4,100	1,350	1,400	
11		3,950	0,800	1,750	
12		3,250	0,400	2,850	
13		2,600	0,250	2,800	
14		2,100	0,150	3,450	
15		1,600	0,100	3,000	
16		1,250	0,100	2,200	
17		1,350	0,100	1,950	
18		2,200	0,050	1,600	
19		14,300	0,050	1,350	
20		11,400	0,150	1,450	
21		6,200	0,550	1,500	
22		4,400	0,900	1,250	
23		3,400	0,850	1,000	
24		2,800	0,700	0,800	
25		2,000	1,250	0,800	
26		1,200	2,950	0,850	
27		0,500	4,050	0,650	
28		0,350	3,450	0,500	
29		0,350	2,800	0,350	
30		0,350	2,350	0,300	
31		0,450	2,250		
Débats moy. mens.		2,465	1,784	1,671	0,016

hydrographique y est pour beaucoup ; comme nous l'avions déjà observé pour le NIEBSDODE et la POGORAYA, l'accumulation dans les mares du lit tronque l'écoulement de tarissement. Il en résulte un accroissement des pertes, comme nous allons le voir.

Les débits moyens mensuels sont les suivants:

2,465 m³/s en Juillet
 1,784 " en Août
 1,671 " en Septembre
 0,016 " en Octobre

Le module vaut 0,50 m³/s, soit 0,5 l/s.km² valeur faible comme il fallait s'y attendre.

Pour établir le bilan hydrologique, nous avons dû procéder à une évaluation assez approximative des précipitations de Janvier à Juillet d'après les pluviomètres de la région, ceux du bassin n'étant pas installés dans la partie Sud, avant la fin Juillet.

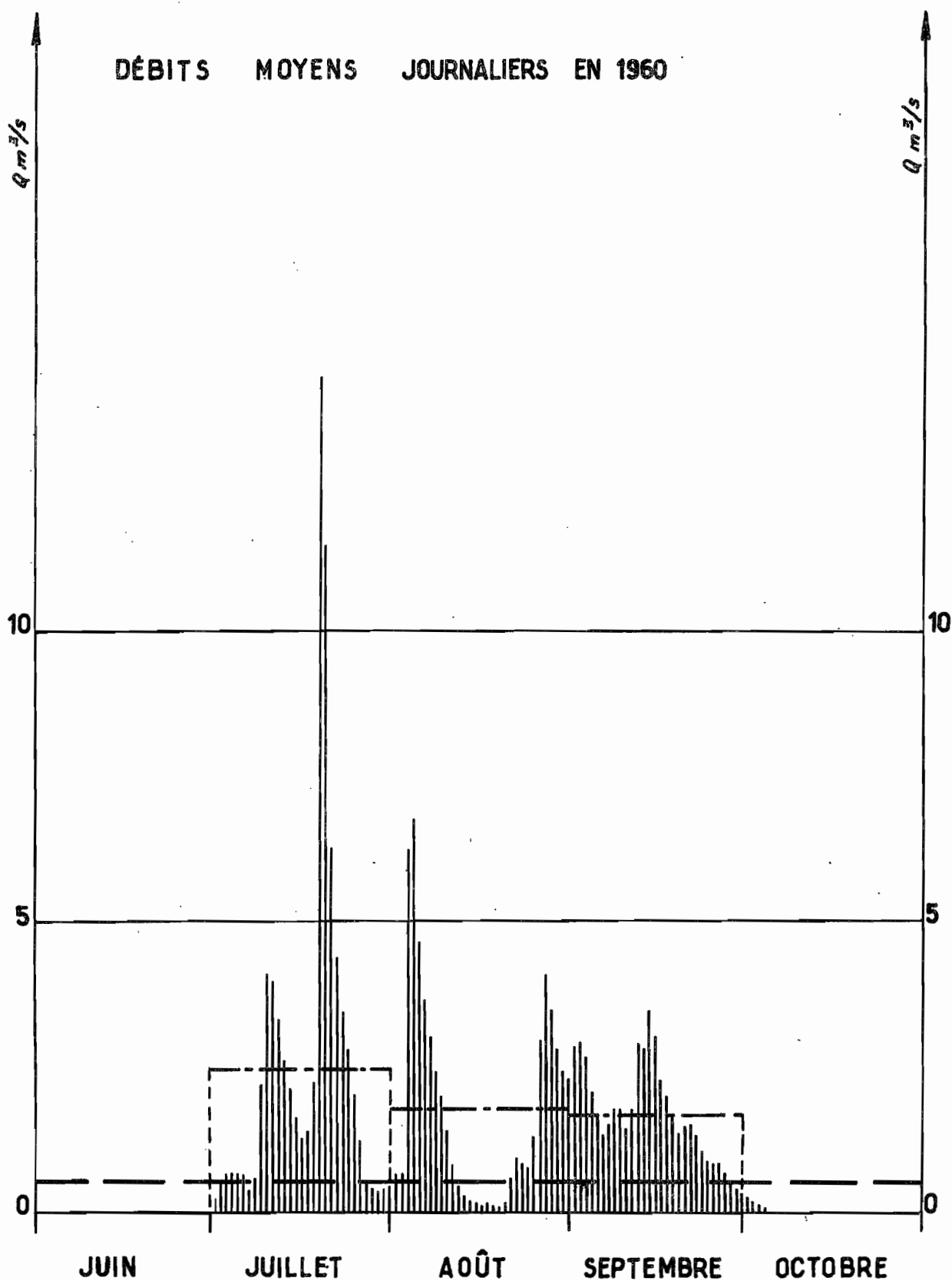
Période	Pluie moyenne (mm)	Volume écoulé 10 ³ m ³	Lame d'eau mm	K _e %
Janv.-Juin	(50)	-	-	
Juillet	(260)	66 00	6,5	2,5
Août	185	4780	4,8	2,6
Septembre	155	4330	4,3	2,8
Octobre	0	43	-	
1960	(650)	15 753	15,6	2,4

Comparativement à la POGORAYA, cet écoulement est faible : 2,4 % contre 3,5 %. Si l'on admet que l'homogénéité, assez bonne dans l'ensemble du bassin du KOULOUOKO, permet d'estimer que le ruissellement y est sensiblement partout du même ordre, on devrait trouver que les apports de la POGORAYA

Le KOULOUOKO à NIEGHA

Gr. 11

DÉBITS MOYENS JOURNALIERS EN 1960



représentent 8,1 % de ceux du KOULOUOKO (82 sur 1010 km²). Or, la part de l'affluent est de 14 %. Autrement dit, si le ruissellement est sensiblement homogène partout, on aurait dû voir couler près de 25 millions de m³ sous le pont de NIEGHA. Ainsi les pertes par évapotranspiration et infiltration seraient d'environ 10 millions de m³ rien que le long du thalweg principal du KOULOUOKO.

Dans ces régions sahéliennes à réseau hydrographique dégradé, on observe ainsi constamment l'amenuisement des volumes écoulés à mesure que s'accroissent les superficies drainées. On le comprend aisément : les surfaces occupées par les thalwegs augmentent considérablement, d'amont en aval, ces vallées sont transformées en marécages durant l'hivernage, et gardent en stock, la saison des pluies finie et l'écoulement tari, un important volume d'eau qui s'infiltrera un peu si les conditions de terrain le permettent, mais surtout sera consommé par évapotranspiration.

L'irrégularité interannuelle doit être très grande ; un module de 0,5 l/s.km² en 1960 est certainement une valeur faible. En effet, les modules de la SIRBA - dont le KOULOUOKO est une des têtes - varient de 1 à 10 environ, soit entre 0,2 et 2 l/s.km² pour 19 000 km² de bassin versant.

6.3 - Les principales crues :

Sur le graphique des débits journaliers de 1960, il y a cinq pointes de crue. Les deux dernières se chevauchent quelque peu et ne correspondent d'ailleurs qu'à de petites crues (débits maximaux inférieurs à 5 m³/s). Les trois premières crues sont plus nettement différenciées, nous allons les examiner en détail.

Les difficultés de l'analyse sont nombreuses. En premier lieu, plusieurs averses concourent à former une même crue ; la lenteur de l'écoulement permet le regroupement des eaux dans un hydrogramme unique duquel on ne peut extraire les éléments provenant de l'une ou l'autre averse.

Ainsi, les averses des 7 et 9 Juillet participent à la formation de la crue qui atteint son maximum le 10 à 18 h. A cette époque, les trois pluviomètres P 16, 17 et 18 n'étaient pas installés, aussi est-il impossible d'évaluer les hauteurs d'eau tombées.

Du 17 au 19 Juillet, il y a eu une averse chaque jour, le maximum de la crue survient le 19 à 16 heures sans que l'on puisse imputer ce maximum à l'une quelconque de ces averses.

Seule la crue du 3 Août (8,9 m³/s à 20 heures) n'est due qu'à une seule averse, celle du 1er Août. On peut donc tenir son temps de réponse de 67 heures comme le plus près de la réalité. Pour les 2 crues précitées, l'imbrication des 2 ou 3 crues élémentaires ne permet pas de vérifier si le temps de réponse est de cet ordre. Celui-ci a certainement été plus court le 19 Juillet, car la violence relative de la crue peut partiellement expliquer la plus grande rapidité de déplacement de l'onde maximale.

Quant aux temps de montée (38 à 66 heures), leur variabilité tient à la grandeur du bassin et dépend étroitement du point d'impact maximal des précipitations.

En première approximation, on peut déjà dire que pour la recherche des débits maximaux de crue il faudra prendre en considération la totalité des précipitations durant 5 jours consécutifs (3 jours de réponse et 2 jours de décrue avant le tarissement). C'est pourquoi nous avons procédé (Chapitre 2.2.4) à l'étude des séries de pluies de 5 jours.

L'écoulement afférent à une crue dure généralement 10 à 11 jours. L'analyse du tarissement montre une première cassure, dans les 3 jours qui suivent le maximum, après laquelle la décroissance du débit se ralentit ; mais 3 à 4 jours plus tard, cette décrue s'accroît à nouveau et reprend un rythme équivalent à celui des premiers jours. On aboutit aussitôt au tarissement total s'il ne repleut pas. On peut considérer que cette deuxième cassure insolite correspond au dénoyage de la majorité des seuils du lit mineur et à l'arrêt de l'écoulement continu dans celui-ci. Il est difficile d'assurer que la première cassure correspond au passage de la phase superficielle à la phase hypodermique du ruissellement, cette dernière représentant certainement l'élément prépondérant de l'écoulement du KOULOUOKO.

L'analyse fine des relations pluie-écoulement ne peut guère être qu'ébauchée. Le nombre de pluviomètres installés sur le bassin du KOULOUOKO, en dehors de la fraction de la POGORAYA, est insuffisant pour que l'on puisse tracer correctement le réseau d'isohyètes afférent à chaque crue. Les pluies maximales et moyennes ne sont estimées que d'une manière approchée.

On trouve 4 à 5 % d'écoulement pour les 2 crues de Juillet et d'Août dont les averses sont à peu près connues.

Le tableau n° 13 récapitule les quelques valeurs caractéristiques des crues du KOULOUOKO, dont nous venons de parler.

En annexe, on trouvera les 3 hydrogrammes de ces crues.

L'évolution d'une crue, entre KOGHO et NIEGHA, peut être intéressante à suivre. Elle apparaît assez bien si l'on compare la crue du 1er Août à KOGHO et celle du 3 à NIEGHA provenant toutes deux d'une seule averse tombée le matin du 1er Août.

Le temps qui sépare les 2 maximums à KOGHO et à NIEGHA est de 61 heures, durée voisine du temps de réponse. Le volume écoulé à la première station, soit 819.10^3 m^3 représente 30 % des $2\,740.10^3 \text{ m}^3$ qui transitent à NIEGHA. Rappelons que le rapport des bassins versants est de 0,081; mais le centre de l'averse ayant intéressé le bassin de la POGORAYA, l'écoulement à KOGHO s'en trouve favorisé. Néanmoins, ce décalage entre les volumes écoulés confirme ce que nous savions déjà, que l'accroissement des pertes le long du KOULOUOKO était une caractéristique importante de ce bassin.

On en dégage une seconde encore plus nette, celle de l'étalement de l'onde de crue et de l'écrasement du débit de pointe si l'on compare les 2 débits maximaux : $40,5 \text{ m}^3/\text{s}$ à KOGHO et $8,9 \text{ m}^3/\text{s}$ à NIEGHA. C'est évidemment au détriment de la pointe de crue que s'effectuent les pertes par débordement qui affectent l'écoulement tout le long du KOULOUOKO.

TABLEAU N° 13

VALEURS CARACTERISTIQUES des CRUES du KOULOUOKO à NIEGHA

(1010 km²)

Date	P _M mm	K %	P _{moy} mm	t _{j^a}	V _e 10 ³ m ³	K _e %	t _m h	t _p h	Q _M m ³ /s	Q ₀ m ³ /s
8 au 16/7	-	-	-	5	1 850	-	66	90/26	4,2	0,35
17 au 26/7	174	55	95	1	4 200	4,4	64	57/45/20	18,2	1,20
2 au 11/8	98	56	55	2	2 740	4,9	38	67	8,9	0,64

(1) Les pluies maximales et moyennes sont estimées

(2) Les valeurs de t_p correspondent aux 2 ou 3 averses ayant précédé la pointe de crue.

Comment peut-on estimer les débits maximaux de crues exceptionnelles ?

La méthode des hydrogrammes unitaires n'est évidemment pas applicable comme pour les affluents, à cause de la structure du réseau hydrographique. En outre, la situation de l'impact maximal de l'averse joue un rôle prépondérant dans la forme de la crue (maximum compris).

Nos éléments d'observations en 1960 sont maigres. Heureusement, les deux plus fortes crues, celles du 3 Août et du 19 Juillet proviennent d'une - ou de plusieurs - averses dont les maximums ponctuels ont été estimés à 98 et 174 mm, valeurs voisines de celles que nous avons affectées des fréquences annuelle et décennale (cf. Chapitre 2.2.4).

Avant l'averse du 1er Août, il avait plu les 29 et 30 Juillet ($t_a = 2$ j.) ; le débit initial avant la crue valait $0,64 \text{ m}^3/\text{s}$. Ces conditions de saturation sont un peu faibles. En outre, une partie des 98 mm proviennent d'une averse tombée le 4 Août nettement après le passage de l'onde maximale de crue. Aussi peut-on considérer la crue du KOULOUOKO comme inférieure à celle que donnerait une série d'averses de fréquence annuelle tombant sur un sol saturé et complètement avant le maximum de crue. Une telle crue annuelle correspondrait bien à 3 millions de m^3 et à un débit de pointe de $10 \text{ m}^3/\text{s}$ (10 l/s.km^2).

Si les conditions de saturation ($t_a = 1$ j et $Q_0 = 1,2 \text{ m}^3/\text{s}$) qui ont précédé les pluies du 16 au 19 Juillet sont meilleures, là aussi la série d'averses est assez lâche et une partie tombe après le maximum de crue. En outre, et ce sont des éléments importants pour une crue décennale :

- le coefficient d'abattement de 55 % à partir de la pluie maximale semble sévère, un coefficient de 5 à 10 % supérieur serait plus normal :
- l'impact maximal de cette averse affecte l'extrémité Nord du bassin, ce qui conduit certainement à un écrêtement excessif du débit de pointe résultant.

Pour la crue observée, on a :

$$V_e = 4,2 \text{ millions de m}^3$$

$$Q_M = 18,2 \text{ m}^3/\text{s}$$

En ce qui concerne la crue décennale, on peut très bien admettre que l'écoulement soit compris entre 5 et 6 millions de m^3/s (soit 5 à 6 % de coefficient d'écoulement), et le débit maximal entre 25 et 30 m^3/s .

Ces valeurs sont données sous toutes réserves, car nous aimerions bien observer avant confirmation, et à titre de vérification, une crue provenant d'une averse centrée près de NIEGHA, par exemple sur le bassin de l'un des affluents (Nord ou Sud) qui se jettent dans le KOULOUOKO, juste en amont du pont et pour lesquels l'écrêtement de la crue doit être bien moindre que sur la POGORAYA.

Mais d'ores et déjà, nous pouvons essayer de calculer une telle crue.

Les affluents Nord (rive gauche) et Sud (rive droite) qui se jettent dans le KOULOUOKO juste en amont du pont de NIEGHA ont des bassins de 182 et 156 km^2 . De telles surfaces, représentant le double environ de celle du bassin de la POGORAYA, doivent donner lieu à des crues d'allures comparables et provenant d'averses journalières.

Faisons l'hypothèse d'une averse décennale, dont l'impact maximal de 110 mm affecte l'un de ces 2 bassins.

Les débits maximaux de crue décennale calculés pour le NIEBSDODE et la POGORAYA nous permettent d'ébaucher l'allure la plus probable de variation de ces débits en fonction de la superficie drainée. On peut, en extrapolant légèrement, évaluer le débit de pointe entre 450 et 650 l/s.km^2 pour des bassins de 150 à 180 km^2 ; ce qui nous donne un maximum vraisemblable de 70 à 110 m^3/s .

Cette crue, en arrivant dans le KOULOUOKO, va être gonflée par celle de l'autre affluent qui, compte tenu du fait qu'il lui est diamétralement opposé, ne doit avoir bénéficié sur son bassin que d'une pluie fortement réduite. On

peut faire l'hypothèse qu'il s'agirait d'une averse annuelle (60 mm au maximum) pour laquelle un débit spécifique de 120 à 130 l/s.km² (200 l/s.km² à KOGHO) serait retenu, ce qui donnerait 15 à 20 m³/s.

Les temps de réponse des deux bassins doivent être du même ordre (superficies, formes, relief et sols comparables), et les deux pointes se rencontreront.

Il faut y ajouter l'apport du haut-bassin du KOULOUOKO qui, dans le cas d'averse centrée sur l'aval, ne peut guère prétendre mieux fournir que 5 à 10 m³/s avec un certain retard sur le passage des ondes maximales des deux affluents précédents. Cette recombinaison de crue conduit à un débit maximal vraisemblable à NIEGHA compris entre 90 et 130 m³/s.

Nous venons de trouver ainsi un débit 4 fois supérieur à celui que, pour une même fréquence de précipitations, aurait donné le haut-bassin. Cette caractéristique des bassins de plusieurs centaines de km² est assez générale quand l'implantation de la station de contrôle se trouve juste aval d'un affluent important. Mais ce phénomène ne revêt une telle ampleur que dans les zones sahéliennes à réseau hydrographique dégradé.

C'est donc le débit maximal le plus élevé (90 à 130 l/s.km²) qu'il faut prendre en considération pour le KOULOUOKO où le risque d'une crue sur l'un des deux affluents étudiés est du domaine du possible.

Bien entendu, et cela est concevable a priori, l'accroissement de débit entre les 2 crues décennales ne se retrouve pas dans l'écoulement si l'on calcule le volume écoulé de la crue dangereuse.

Avec 15 à 20 % de coefficient d'écoulement, on obtient 2,5 à 3,5 millions de m³ sur l'affluent frappé par le centre de l'averse, auxquels s'ajoutent 1,5 à 2 millions de m³ en provenance et du 2ème affluent et du haut-KOULOUOKO. Le volume d'écoulement total s'inscrit entre 5,5 et 7,5 millions de m³. On avait estimé entre 5 et 6 millions de m³ celui de la crue décennale avec impact maximal dans le haut-bassin. L'écart est faible et de l'ordre de grandeur des erreurs de calcul.

Deux comparaisons termineront ce chapitre :

a) En 1959, la cote maximale atteinte fut de 2,80 m, pour laquelle le débit doit se placer entre 50 et 80 m³/s, fourchette représentant une valeur voisine des 2/3 de la crue décennale que nous venons de calculer.

b) La SIRBA à GARBE-KOUROU (19 000 km²) a 449 m³/s, soit 23,5 l/s.km² comme débit maximal journalier en 3 ans d'observations (1956-1958). Cette crue était exceptionnelle pour ce cours d'eau et de fréquence rare; la valeur spécifique de cette pointe est compatible avec celle que nous retenons pour la crue décennale du KOULOUOKO. Elle est approximativement le quart de cette dernière (23,5 contre 110 l/s.km²) pour un bassin 19 fois plus grand.

CONCLUSION

Dans ce rapport, nous avons voulu rendre compte des observations effectuées au cours de l'hivernage 1960 sur les bassins de BOULSA. Certaines caractéristiques des écoulements ont été mises en évidence, mais la plupart du temps, nous avons dû nous contenter, faute d'éléments suffisants, de présenter des conclusions provisoires.

A toutes les questions posées dans la Convention, nous nous sommes efforcés de répondre, en adoptant bien souvent une fourchette d'estimation assez grande. Nous essayerons d'en réduire l'éventail après la campagne de 1961, et de préciser les points restés obscurs.

Si, d'ores et déjà, les Ingénieurs du Génie Rural ont à réaliser des aménagements nécessitant la connaissance des données hydrologiques de base, nous leur conseillons vivement, par mesure de sécurité, de n'adopter que les valeurs les plus pessimistes parmi celles que nous avons retenues.

A N N E X E S

A N N E X E S

Tableaux n° 4 à 9 :

- Relevés pluviométriques journaliers du poste de BOULSA (1958-1960)
 - Relevés pluviométriques journaliers O.R.S.T.O.M. (3ème trimestre 1960) P 1 à P 18.
-

Isohyètes et hyétogrammes pour l'averse du 17 Juillet

"	"	"	du 18 Juillet
"	"	"	du 1er Août

Crue du NIEBSDODE le 18 Juillet

" " le 1er Août

Crue de la POGORAYA le 17 Juillet

" " le 18 Juillet

" " le 1er Août

Crues du KOULOUOKO les 10 et 19 Juillet et le 2 Août

RELEVES PLUVIOMETRIQUES JOURNALIERS du poste de BOULSAAnnée 1958

Date	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1									3,9			
2							1,2	5,1	12,5			
3								4,8				
4							11,3	3,8				
5								3,5				
6								93,4	35,8			
7								27,2				
8							88,6	26,8				
9												
10							16,0		1,2		8,5	
11												
12							3,0	1,5				
13							3,1	38,9	6,2			
14								9,5				
15							22,2	33,6				
16								17,7				
17								5,8	15,3			
18								60,6				
19							20,5	6,5				
20								8,4				
21								9,8	1,6			
22								101,1				
23								23,1	3,1			
24							33,1	37,5				
25											1,0	
26								27,6				
27							2,1		2,5			
28								4,6	22,9			
29												
30												
31							29,8	32,5				
Total	0	0	0	0	0	0	230,9	583,3	105,0	0	9,5	0
Nombre de jours	0	0	0	0	0	0	11	23	10	0	2	0

RELEVES PLUVIOMETRIQUES JOURNALIERS du poste de BOULSAAnnée 1959

Date:	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1							69,2	5,0				
2					11,0		28,0	28,0	3,0			
3												
4					3,0	0,2						
5								15,0	25,0			
6					9,0							
7						6,1		19,5				
8								12,5				
9												
10									10,0			
11								13,5	14,5			
12						16,5	9,3		24,0			
13					7,5		11,7	21,0				
14												
15								67,0	23,1			
16						28,0	0,2	13,0				
17					3,5	1,5		2,0	14,5			
18					29,5	10,5		39,0				
19					10,5							
20								116,0				
21						1,5			13,6			
22						2,5		35,0	8,2			
23								10,0				
24						1,5	26,0	12,0	3,8			
25					29,0			16,0				
26												
27												
28								43,0				
29						16,5						
30								6,0				
31					2,5							
Total	0	0	0	0	105,5	84,8	144,4	473,5	139,7	0	0	0
Nombre de J.	0	0	0	0	9	10	6	18	10	0	0	0

RELEVES PLUVIOMETRIQUES JOURNALIERS du poste de BOULSA

Année 1960

Date:	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1									5,5	2,0		
2				65,4	3,5	15,0						
3									10,0			
4								8,0				
5								3,0	17,2			
6						19,5						
7								2,0				
8												
9						33,6		2,0	3,4			
10									5,4			
11								10,5	10,0			
12												
13									8,5			
14				0,5	22,0	13,0		6,5				
15						22,0						
16				1,4		32,0		6,8				
17					0,4	35,0			16,7			
18					58,3	17,0			12,0			
19						1,3			11,3			
20								6,0				
21												
22		22,0						25,0				
23												
24					0,3			12,0				
25						3,5		8,0				
26						12,0		6,0				
27						2,5						
28				12,0								
29						22,5						
30				3,0	19,0	53,0	28,0					
31												
Total:	0	0	22,0	0	82,3	103,5	281,9	123,8	100,0	2,0	0	0
Nombre de j.:	0	0	1	0	5	6	14	13	10	1	0	0

Bassin Versant de BOULSA
Pluviométrie pour le mois de Juillet 1960
(en mm)

TABLEAU N° 7

Date	P ₁		P ₂		P ₃		P ₄		P ₅		P ₆		P ₇		P ₈		P ₉	
	N	J	N	J	N	J	N	J	N	J	N	J	N	J	N	J	N	J
1	29,0		28,0		31,4		28,4		16,4		27,0		15,5		24,6		23,1	
2		30,0		31,7		29,9		30,0		23,9		33,4		29,0		32,6		22,1
7	39,0		13,5		28,6		43,3		56,4		31,9		14,0		21,2		35,0	
8		1,0																
9		30,0		27,5		31,4		26,5		22,4		25,0		29,5		28,2		33,5
10									1,0									
15		5,0	19,4		21,3		24,2		14,5	3,2	19,3		11,0	25,0	11,8		7,1	
16	11,0			15,7		20,0		15,6		(15)		16,3				6,8		7,7
17	33,0		22,0		32,6		43,0		46,0		45,5		53,0		62,3		59,7	
18	58,0		36,8		48,5		47,0		24,5		35,0		39,0		41,6		43,2	
19	9,0	8,0	23,4	10,4	17,0	7,8	17,4	8,4	30,0	5,6	27,0	8,8	37,5	8,5	31,8	6,4	50,0	5,0
20	1,0																	
26	27,0		43,0		29,5		22,3		22,8		36,0		29,0		21,2		23,6	
27	2,0	9,0		8,0		9,0		5,6	8,1	(8)		11,4	5,0	7,0	7,8	6,4	6,4	5,3
29		16,5		39,5		22,4		23,1		19,7		34,3		17,0		26,0		21,5
30			5,1		4,6		5,7		(5)		6,5		5,5		4,3		9,5	
31													0,5					
Total	308,5		324,0		334,0		340,5		322,5		357,4		326,0		333,0		352,7	

N.B. N : Relevés de 19 heures la veille à 7 heures

J : Relevés de 7 heures à 19 heures

Bassin Versant de BOULSA
Pluviométrie pour le mois de Juillet 1960

TABLEAU N° 7 bis

Date	P ₁₀		P ₁₁		P ₁₂		P ₁₃		P ₁₄		P ₁₅		P ₁₆		P ₁₇		P ₁₈	
	N	J	N	J	N	J	N	J	N	J	N	J	N	J	N	J	N	J
1					15,0				16,3									
2		18,4		26,9		12,5		21,3		26,2		15,0						
7	27,0		31,5		53,0		35,0		45,0		19,5							
9		29,4		29,5		32,0		29,3		25,2		33,6	Ins. à 11h					
10								1,0										
14													13,8					
15	9,9		9,6		5,5	12,5	9,2		9,0	12,5	13,0		12,3					
16		5,5		6,0				8,4			22,0							
17	55,8		60,0		40,5		62,3		39,0	20,2	32,0		12,1					
18	32,0		52,8		25,0		30,0		19,0		35,0		7,3	5,3				
19	44,0	7,4	46,8	8,0	55,5	9,0	50,0	6,6	58,5		17,0		13,6	8,7				
20											1,3							
21													12,8					
26	23,4		27,3		19,0		21,8		26,4		3,5		3,9				Ins. à 18h	
27	9,2	4,3	5,8	7,8	0,5	4,5	6,6	3,1	2,4	5,8	12,0		8,8		Ins. à 12h			
28											2,5							
29		20,0		12,9		17,0		15,8		13,9			8,6					
30	5,5		4,8		2,0		4,0		5,4		22,5							
Total	291,8		329,7		303,5		304,4		324,8		228,9		112,2					

N.B. N : Relevés de 19 heures la veille à 7 heures

J : Relevés de 7 heures à 19 heures

Bassin Versant de BOULSA

TABLEAU N° 8

Pluviométrie pour le Mois d'Août 1960
(en mm)

Date	P ₁		P ₂		P ₃		P ₄		P ₅		P ₆		P ₇		P ₈		P ₉	
	N	J	N	J	N	J	N	J	N	J	N	J	N	J	N	J	N	J
1	43,5		62,1		39,5		44,5		39,8		61,6		63,5		62,3		65,7	
4	5,0	18,5	10,8	20,7	3,5	11,2	1,5	11,1	19,0	9,3	10,6	18,6	2,5	18,5	6,2	6,5	4,2	10,7
9		1,5		1,2		1,8		0,8		1,3		1,2		1,0		2,1		1,2
11									15,6				7,0		9,2		42,2	
12									0,3				0,5					
14		0,5		1,0		0,4		0,5				0,9		1,5		0,7		6,0
17	6,5	1,0	3,1	0,9	4,1	0,9	3,5	1,2	7,3	1,0	5,0	0,5	21,0	0,5	23,1	0,6	18,4	0,8
18									1,3									
20			2,5		1,6		2,1		2,2		1,9		5,5					
21	1,5		2,0		1,2		0,6		1,2		1,3							
22		21,5		18,0		12,4		9,3		14,7		18,6		32,0		38,3		19,2
23														1,0				
25		33,0		29,5		28,0		32,4		38,6		31,3		34,5		47,0		35,4
26		0,5		1,9		5,9		4,2		2,4		18,2						
31	26,5			28,0		30,3		25,0		29,9		24,5	37,0			20,2		28,8
Total	159,5		181,7		140,8		136,7		183,9		194,2		226,0		216,2		232,6	

N.B. N : Relevés de 19 heures la veille à 7 heures

J : Relevés de 7 heures à 19 heures

Bassin Versant de BOULJA

TABLEAU N° 8 bis

Pluviométrie pour le mois d'août 1960

Date	P ₁₀		P ₁₁		P ₁₂		P ₁₃		P ₁₄		P ₁₅		P ₁₆		P ₁₇		P ₁₈	
	N	J	N	J	N	J	N	J	N	J	N	J	N	J	N	J	N	J
1	81,7		75,5		46,5		71,7		55,3		53,0		11,9					
2																24,8	31,8	
4	5,1	10,6	9,2	10,0	0,5	13,0	3,1	16,8	10,3	20,0		8,0						
6											3,0							
8											2,0							
9		1,3		1,4		1,0		1,8		2,4					21,6		32,6	
10											2,0							
11		25,3		16,0		15,5		11,0		17,1			18,4					
12		2,5		2,5		0,5	11,5		6,0		0,5	10,5						
13						0,5							6,2					
14						0,5	7,5				5,1							
15											6,5							
16																1,3	18,4	
17	19,0	1,2	23,3	0,9	5,5	0	14,3	1,6	18,3	1,4	6,8							
18						1,0				1,0			14,9					
20									2,3				11,6					
21						0,5			1,2		6,0		12,7					
22		17,3		17,0		8,5		16,0		26,3		25,0						
23						1,0												
25		60,7		55,3		21,5		31,7		51,2		12,0		19,5		63,6	38,9	
26						12,5				5,3		8,0		42,8				
27											6,0			8,3				
30																53,4	74,8	
31		30,0		24,9	24,5			28,9		28,7	28,0		32,2					
	254,7		236,0		172,0		202,9		246,4		176,8		178,5		164,7		196,5	

N.B. Les relevés des P 17 et P 18 concernent le total des précipitations de la semaine précédente.

Bassin Versant de BOULSA

TABLEAU N° 9

Pluviométrie pour le mois de Septembre 1960
(en mm)

Date	P ₁		P ₂		P ₃		P ₄		P ₅		P ₅		P ₇		P ₈		P ₉	
	N	J	N	J	N	J	N	J	N	J	N	J	N	J	N	J	N	J
1	3,0	1,5	4,2		5,5		4,0		5,5		3,7		5,0	0,5				
2	1,7		0,9		1,2		1,8		2,5		0,5							
3		2,5											9,0					
4			4,8		1,5		1,9		3,4		4,6		9,0		8,0		13,0	
5		34,0		13,0		33,5		22,4		29,8		25,0		12,5		8,0		26,4
6													7,0					
7			3,0		1,2		0,8				4,9							
10	19,0	14,0	5,1		8,9		3,2		8,0		10,9		21,0	5,5	1,8		10,5	
11		12,0	12,0		10,3		8,2		9,4		9,1				6,3		10,0	
12			8,5		27,0		12,6		11,5		12,1		10,5		11,0		15,8	
13		16,5																
14			12,2		10,5		7,9		11,3		9,7				6,0		15,0	
15		0,5	1,2		0,8		1,0		16,9		0,3			0,5			8,2	
18	12,0		9,5		12,1		10,0		16,8		11,6		14,0		16,8		24,0	
19		17,0		13,5		20,8		14,0		15,0		14,5		16,0		8,5		11,7
23		3,0																
24									16,8								2,7	
Total	136,7		87,9		133,3		87,8		146,9		106,9		118,0		66,4		137,3	

Bassin Versant de BOULSA

TABIEAU N° 9 bis

Pluviométrie pour le mois de Septembre 1960

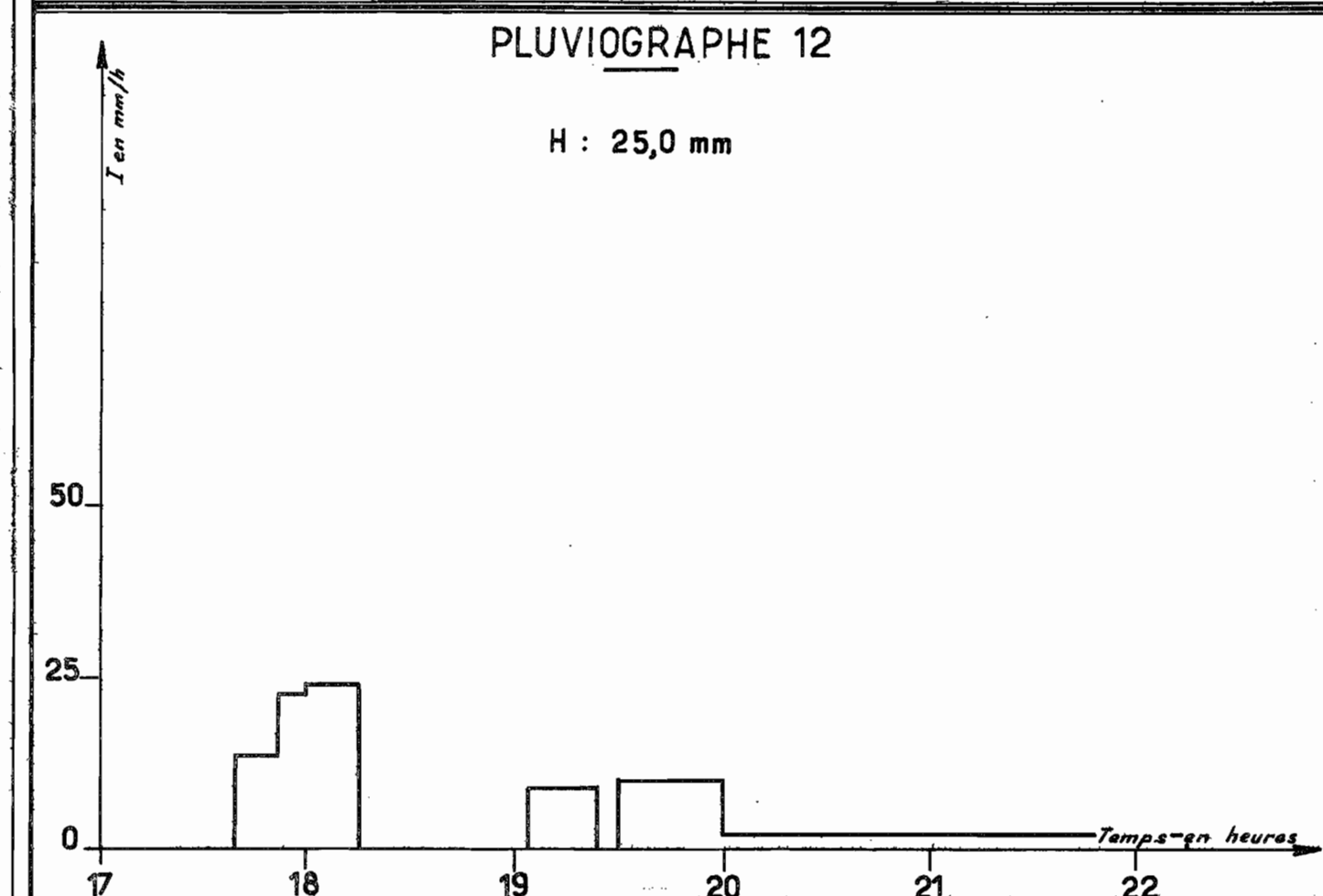
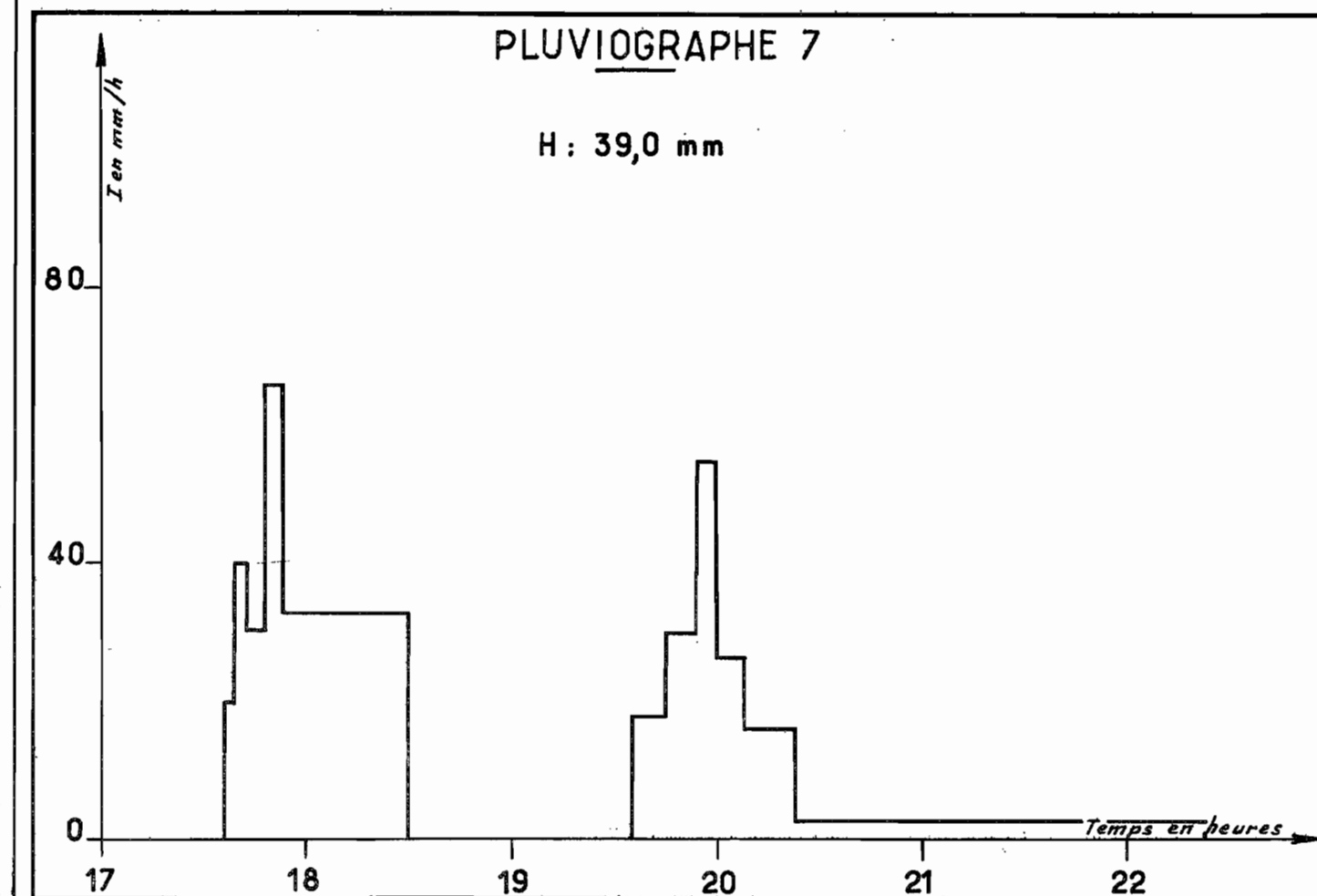
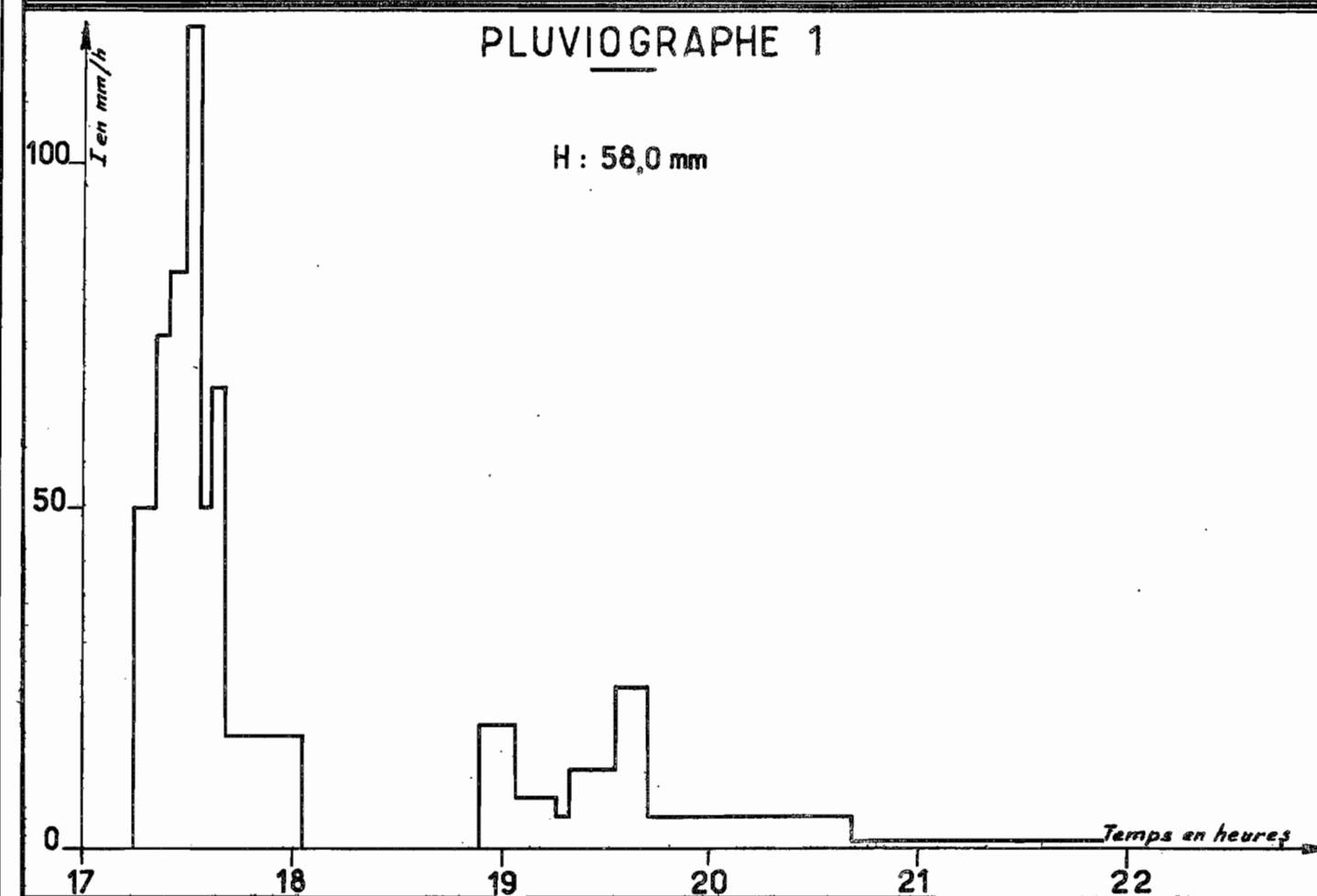
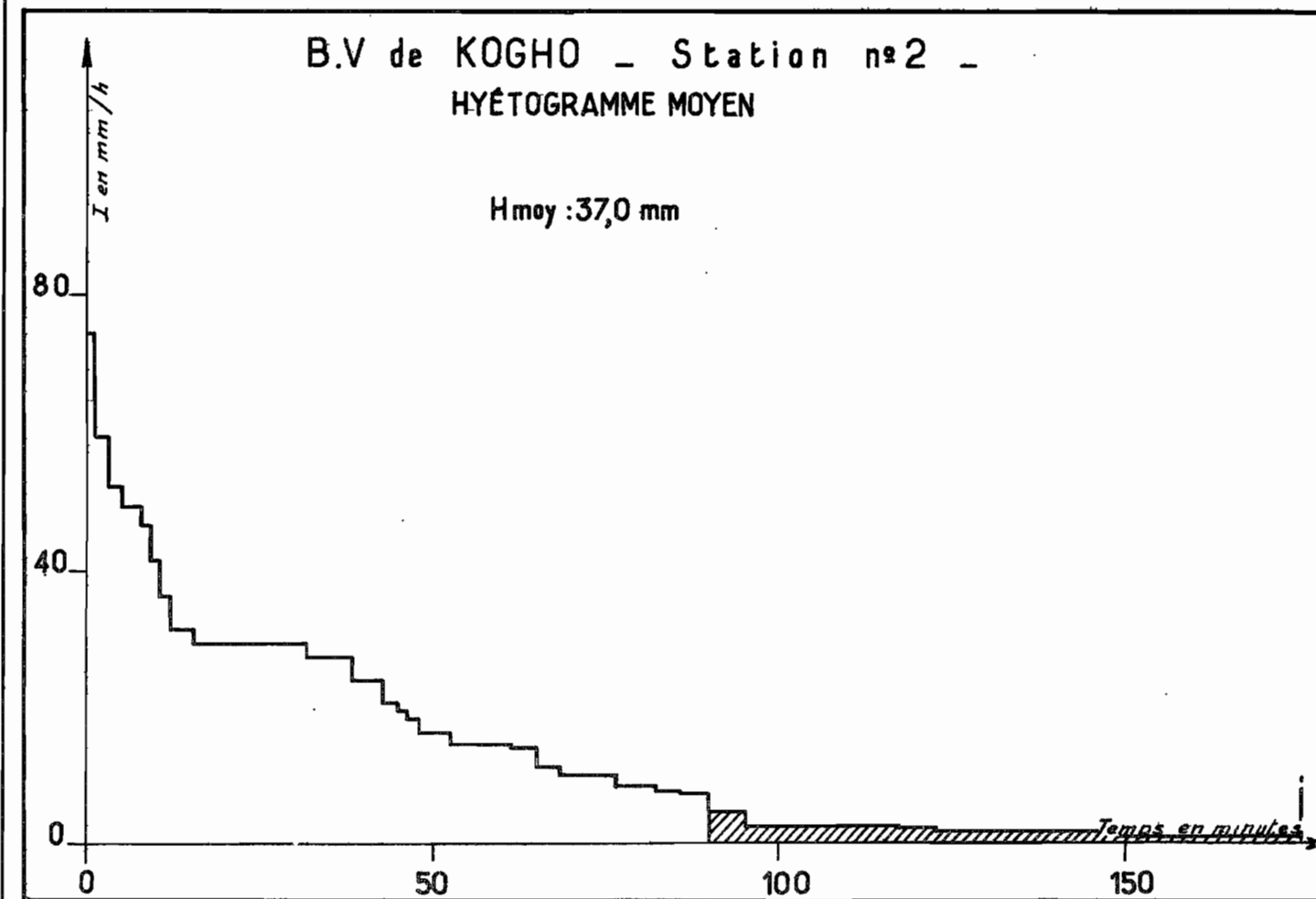
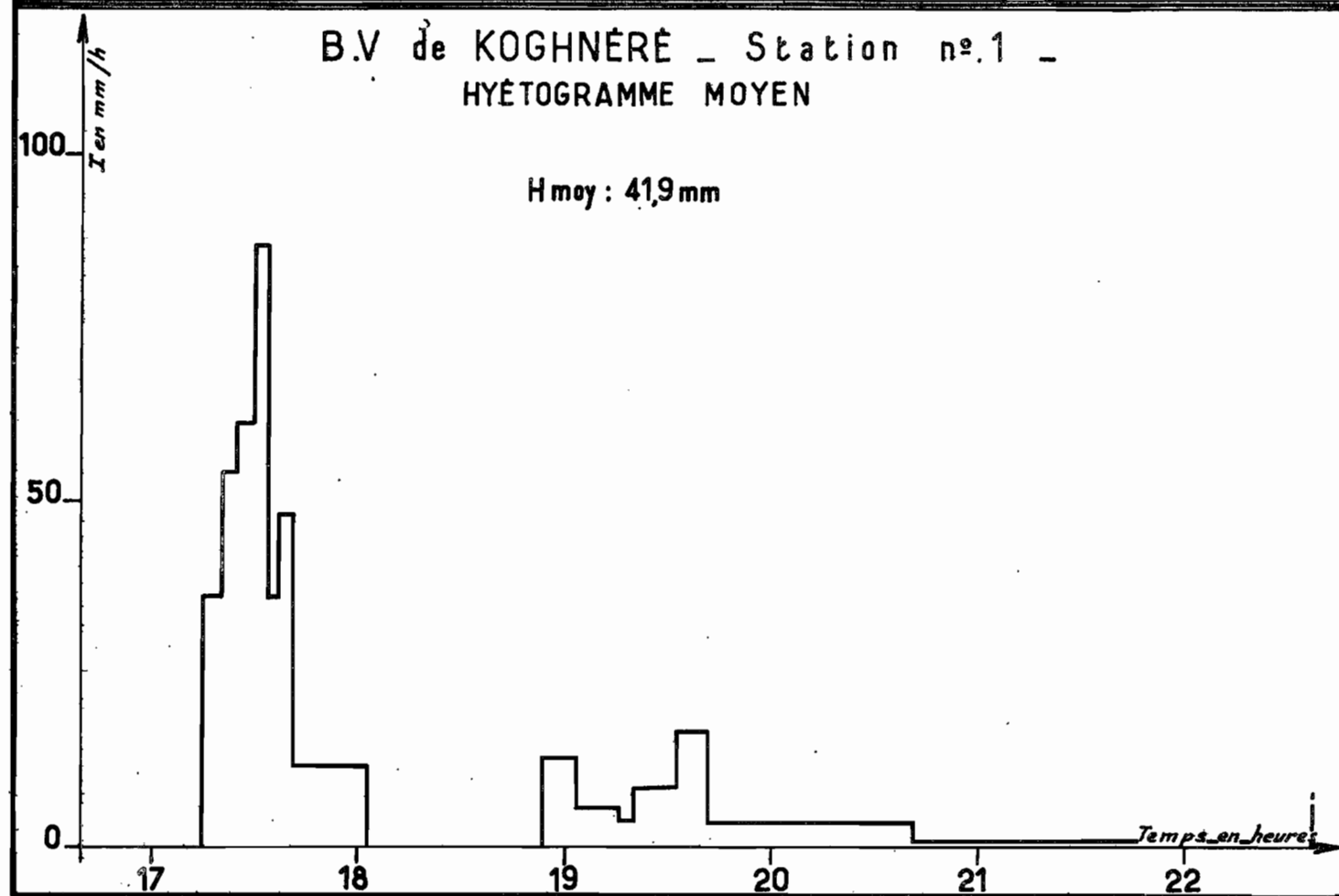
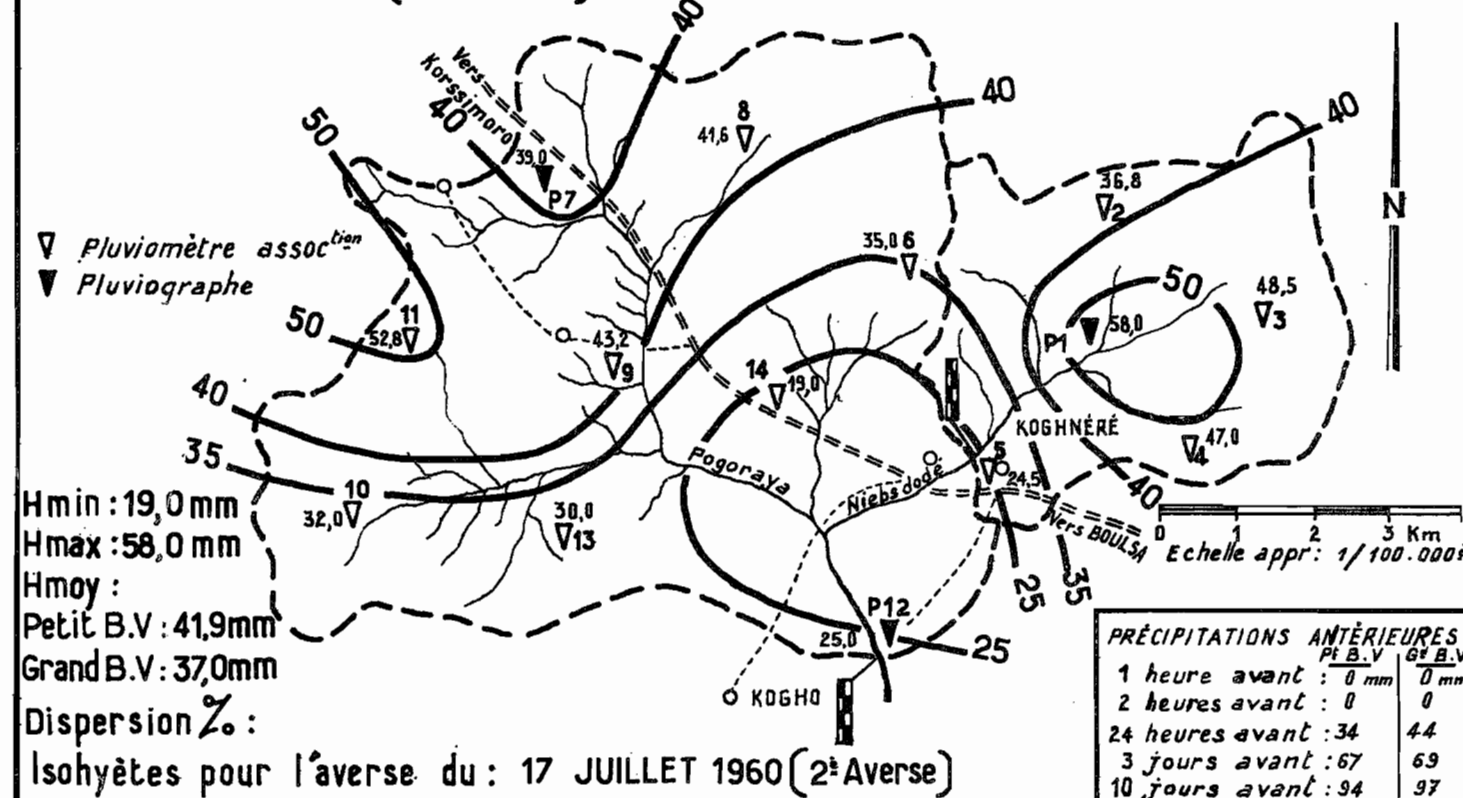
Date	P ₁₀		P ₁₁		P ₁₂		P ₁₃		P ₁₄		P ₁₅		P ₁₆		P ₁₇		P ₁₈	
	N	J	N	J	N	J	N	J	N	J	N	J	N	J	N	J	N	J
1					1,5	4,5			4,5				1,7	14,9				
2	4,7		8,0				4,0		4,2		5,5		38,1					
3						11,0								12,3				
4	5,0		6,4		11,0		7,5		8,3		10,0		8,4					
5		20,5		18,4		20,0		22,5		39,5				18,9				
6											17,2				58,6		47,7	
7														9,7				
10	5,6		7,2		2,0	7,5	4,0		12,0		3,4		26,8					
11	8,3		3,9			22,0	4,1		10,3		5,4			8,5				
12	14,8		10,7		0,5		13,3		15,6		10,0		58,8					
13						12,5									35,3		28,1	
14	17,2		16,0				18,0		16,0		8,5		28,7					
15						0,5												
18	21,3		15,9		28,0		20,0		15,7		16,7							
19		17,1		16,0		15,5		18,8		17,6	12,0	11,3						
20						3,0									46,3		65,3	
23						8,5												
24	10,5		17,8		0,5		8,7		9,6									
Total	125,0		120,3		148,5		120,9		153,3		100,0		226,8		140,2		141,1	

N.B : Les relevés des P 17 et P 18 concernent le total des précipitations de la semaine précédente.

Bassins Versants de BOULSA

Station n°1 (KOGHNERÉ) : 21,5 Km²
Station n°2 (KOGHO) : 82,0 Km²

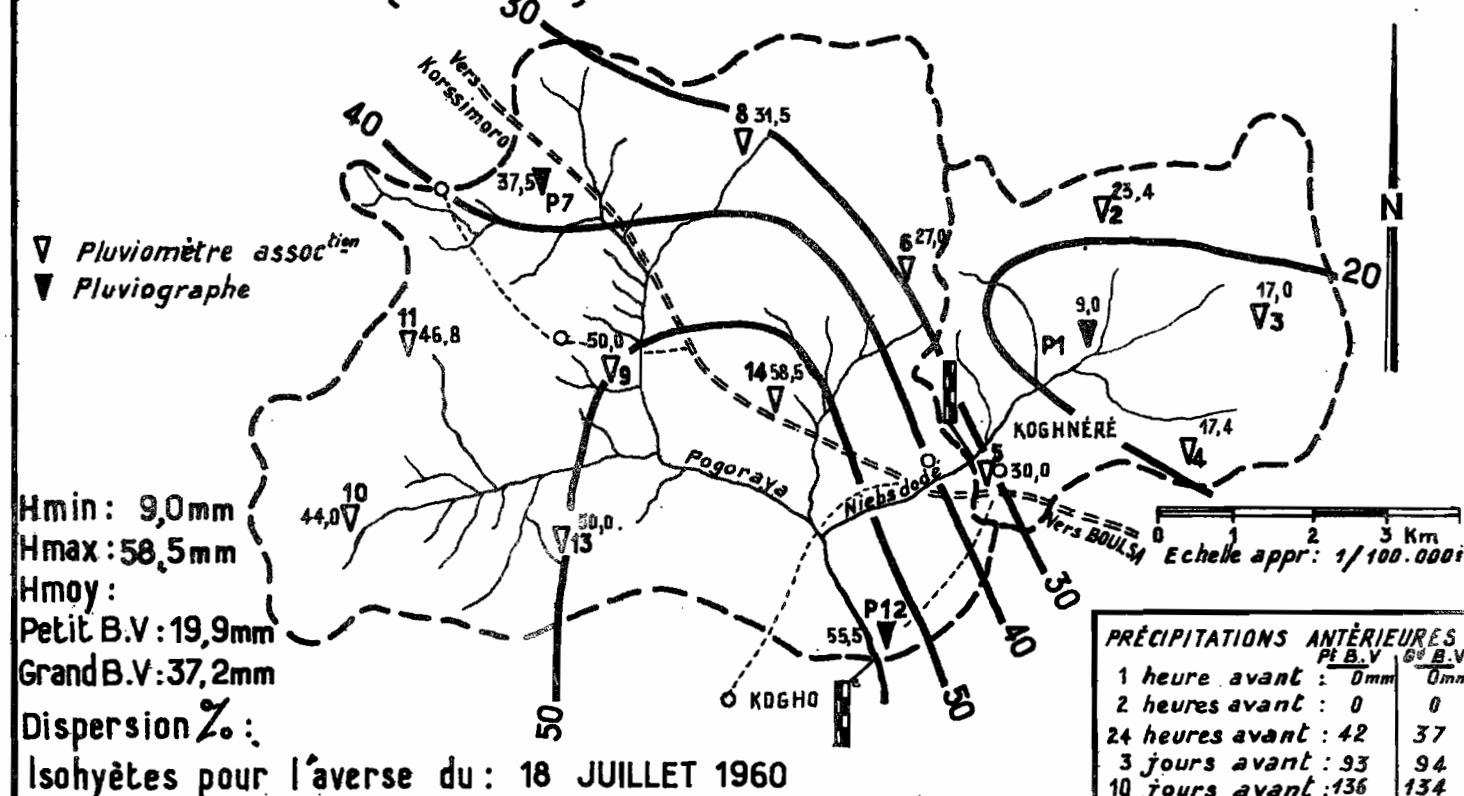
AVERSE N° 3



Bassins Versants de BOULSA

Station n°1 (KOGHNERÉ) : 21,5 Km²
Station n°2 (KOGHO) : 82,0 Km²

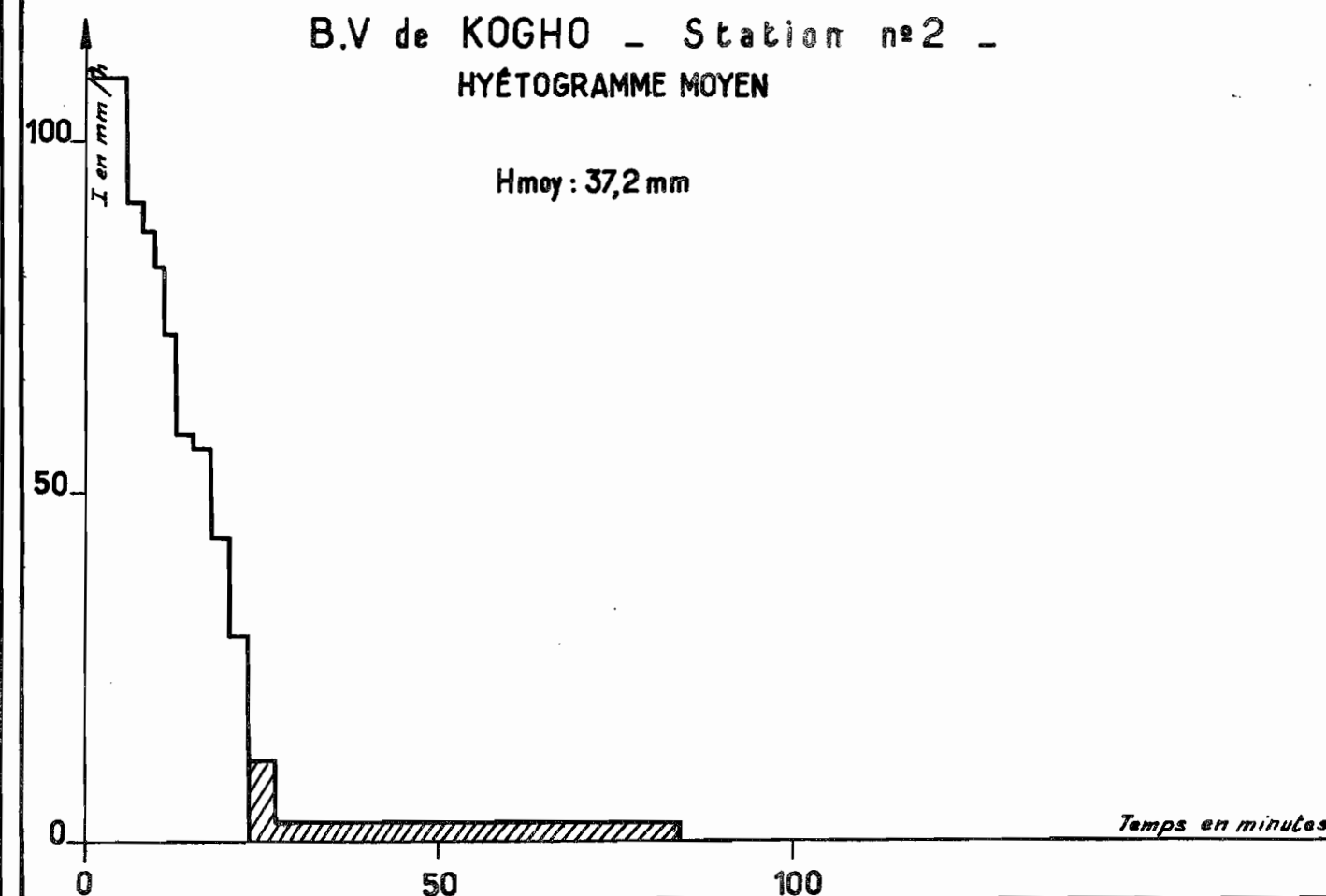
AVERSE N°4



VOL. 61021

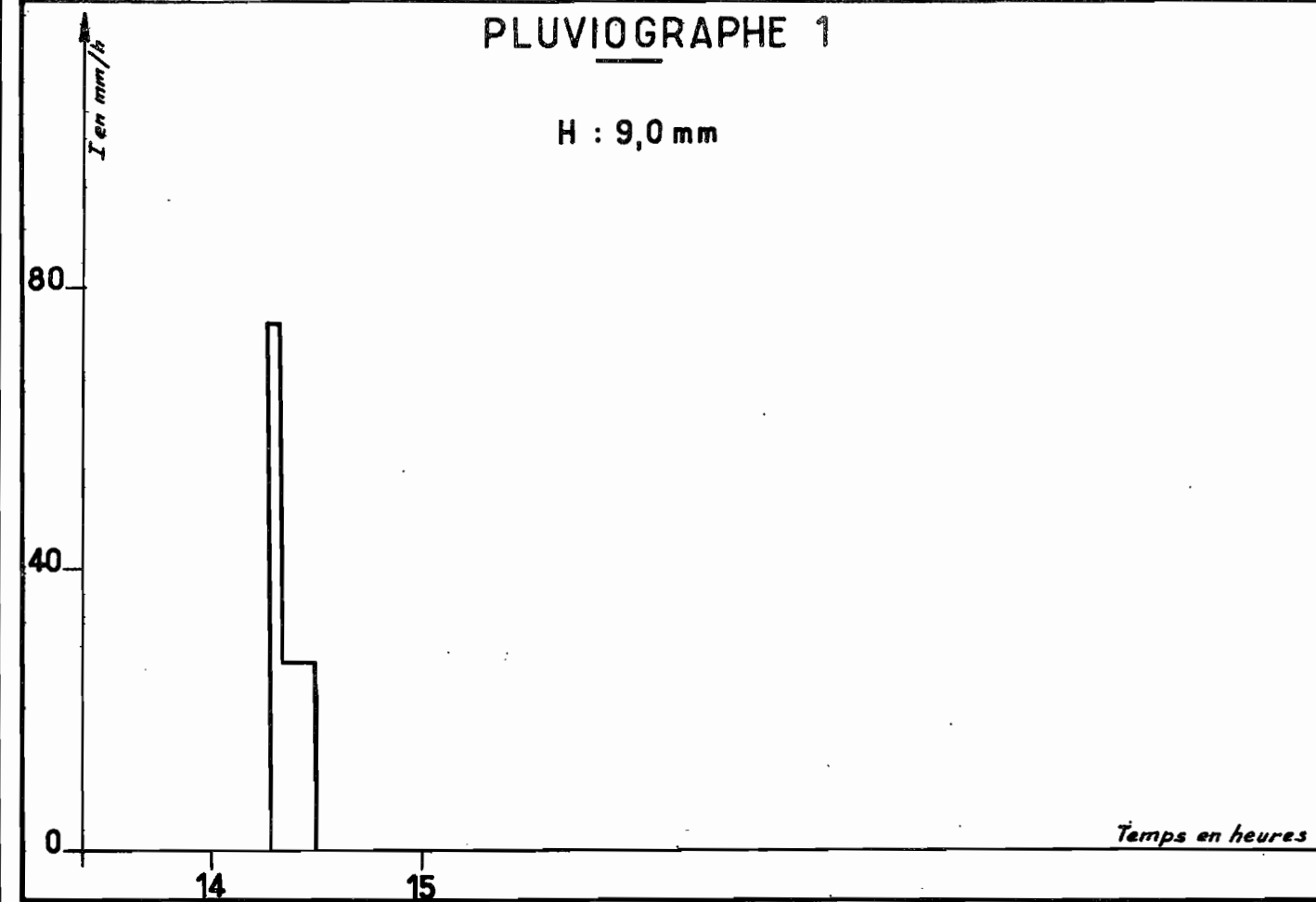
B.V de KOGHO - Station n°2 - HYÉTOGRAMME MOYEN

Hmoy : 37,2 mm



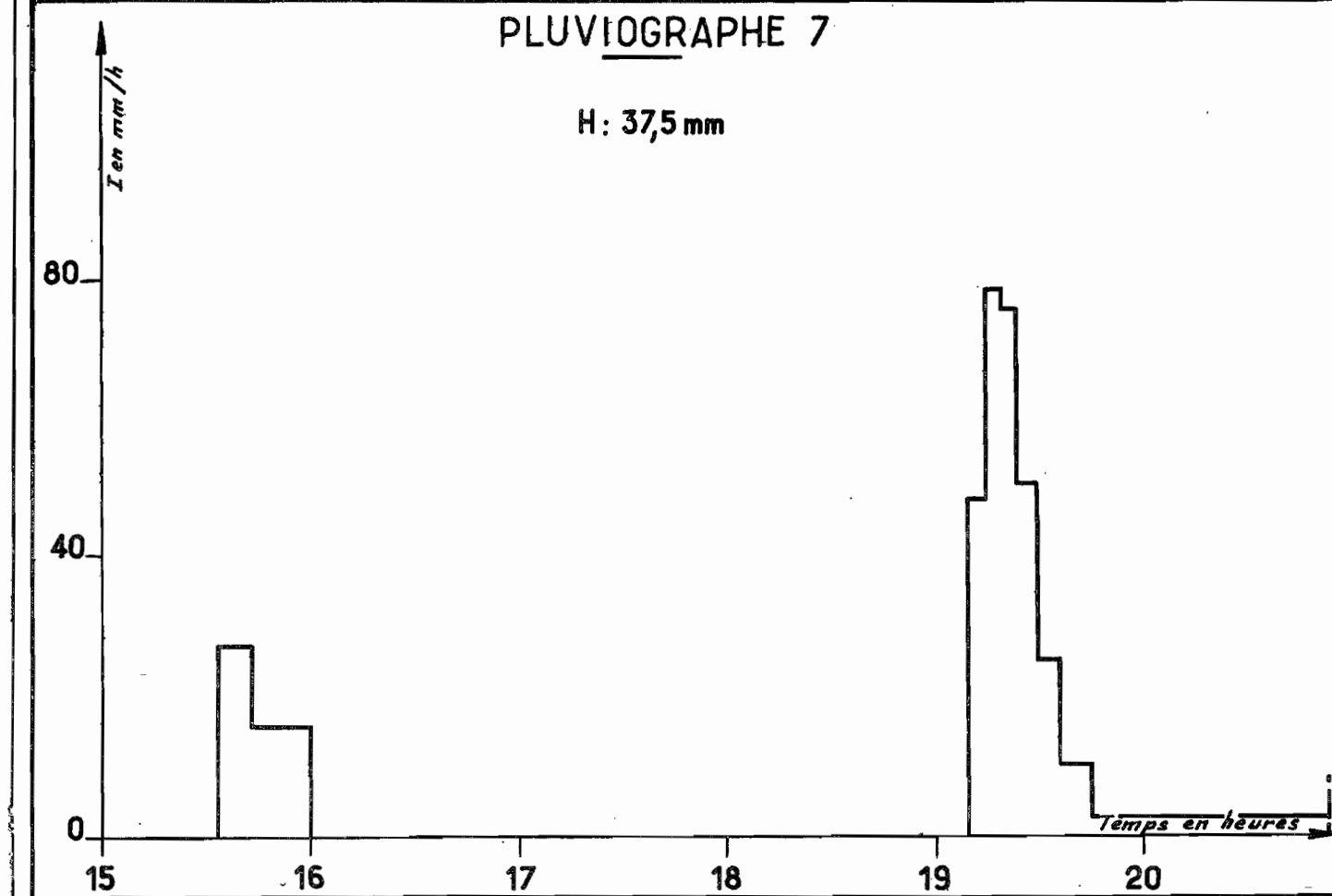
PLUVIOGRAPHE 1

H : 9,0 mm



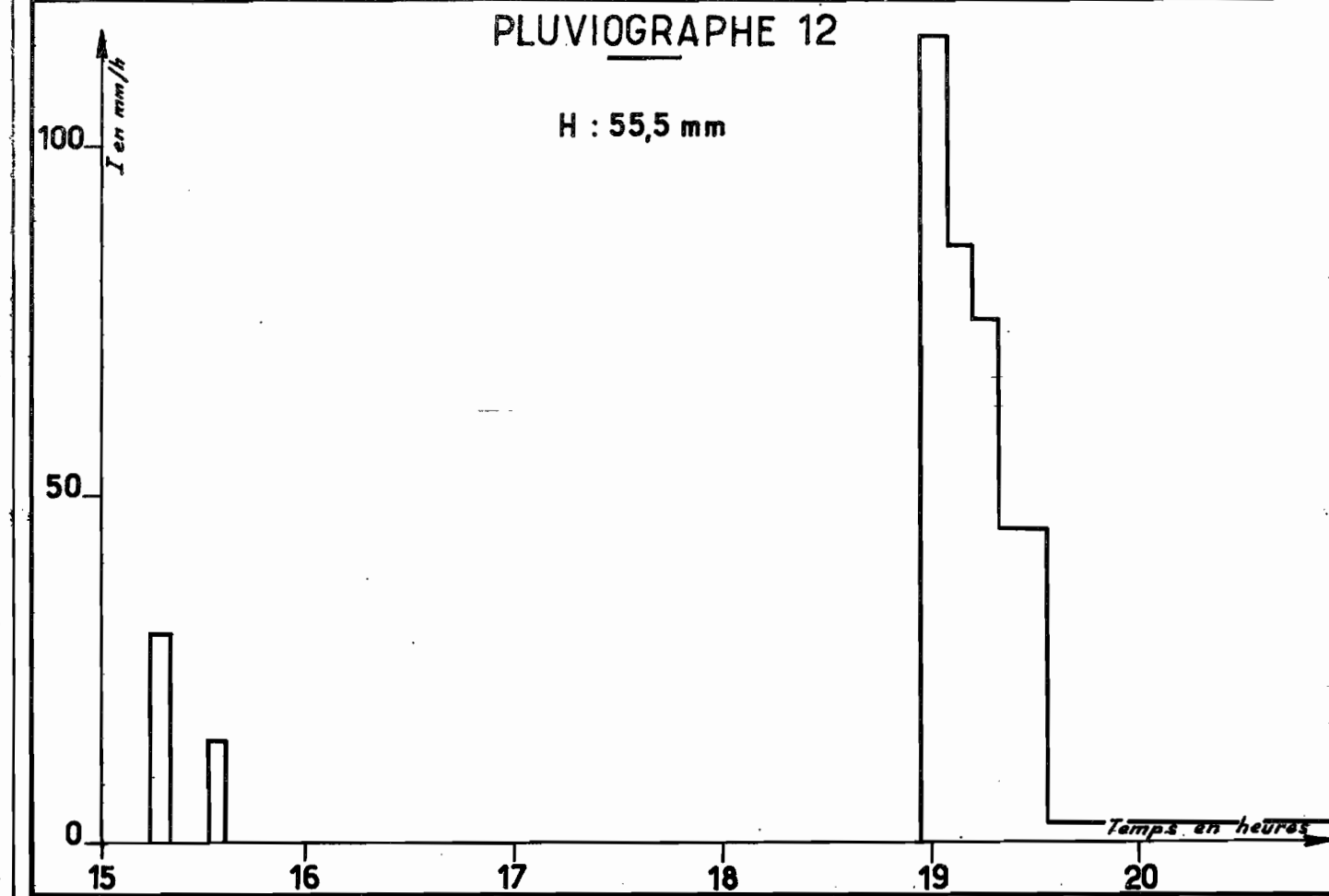
PLUVIOGRAPHE 7

H : 37,5 mm



PLUVIOGRAPHE 12

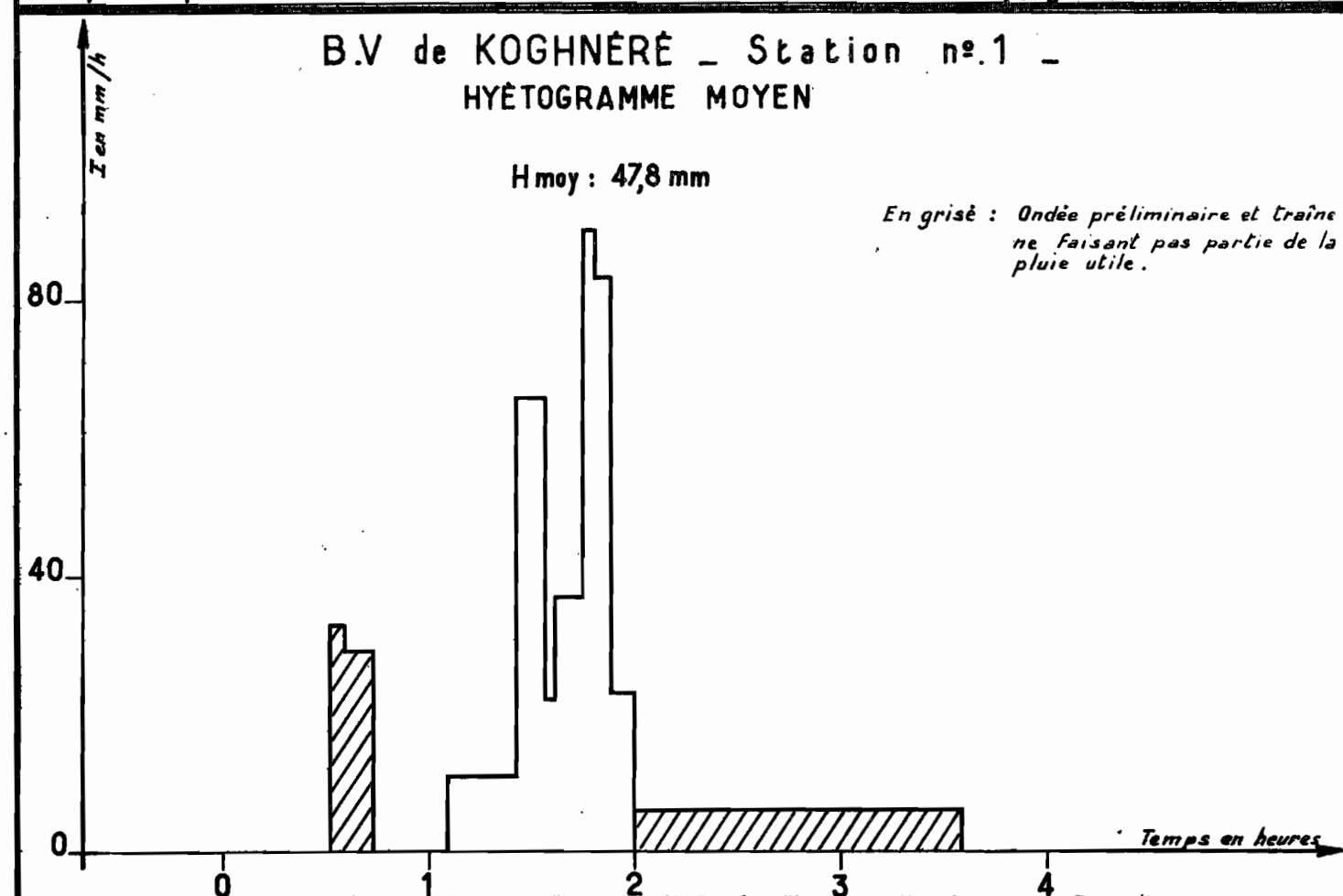
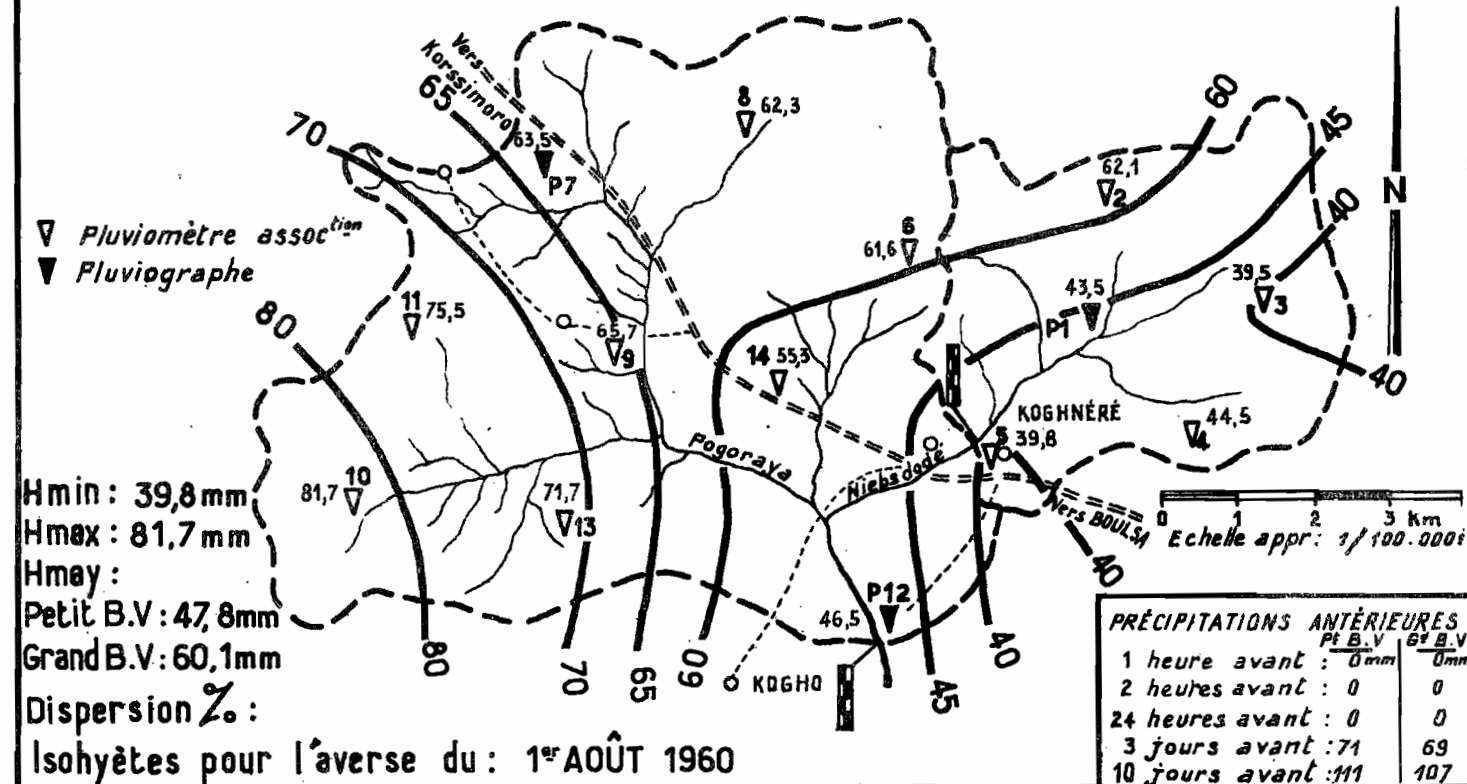
H : 55,5 mm



Bassins Versants de BOULSA

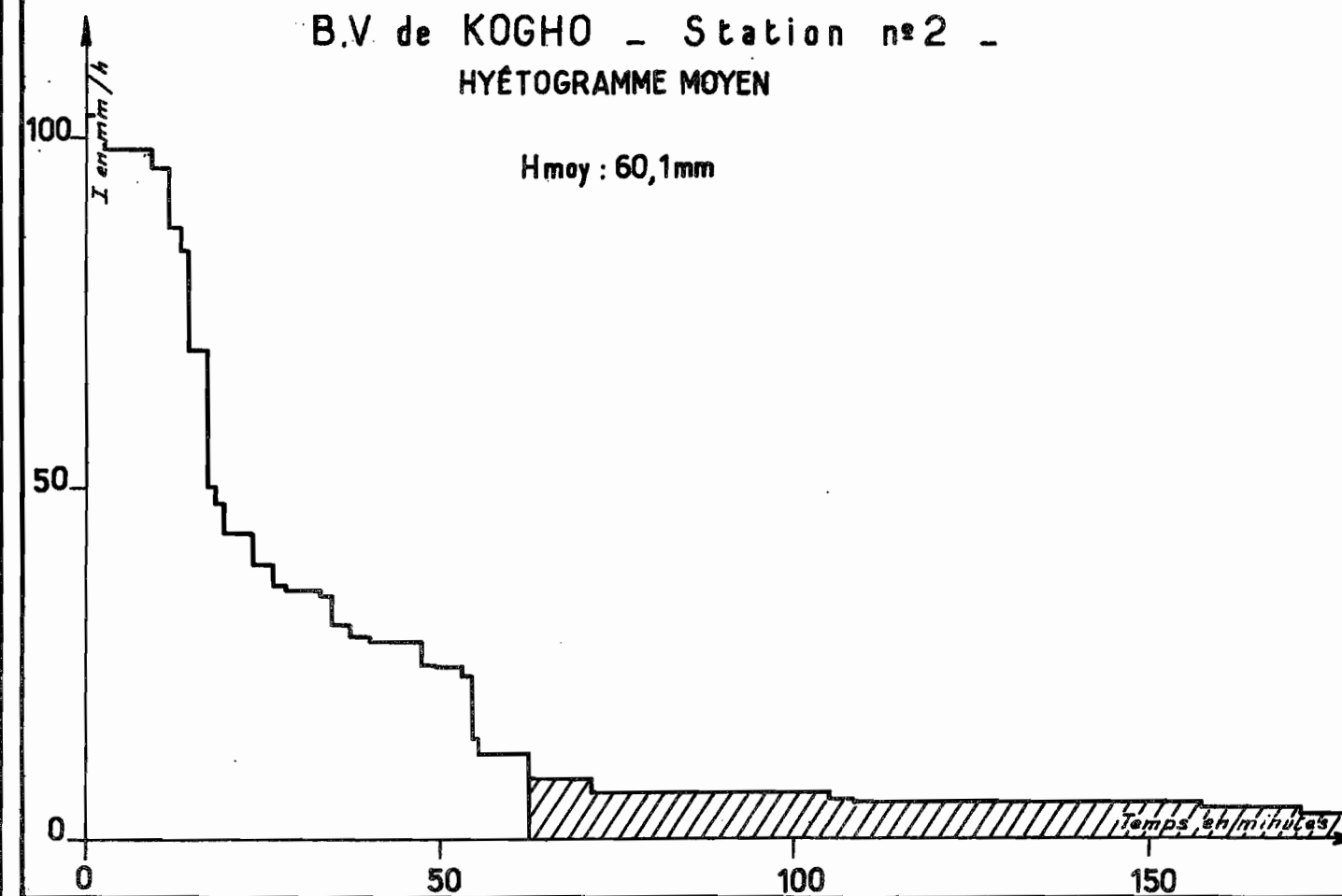
Station n°1 { KOGHNÈRE } : 21,5 Km².
Station n°2 { KOGHO } : 82,0 Km².

VERSE N°5



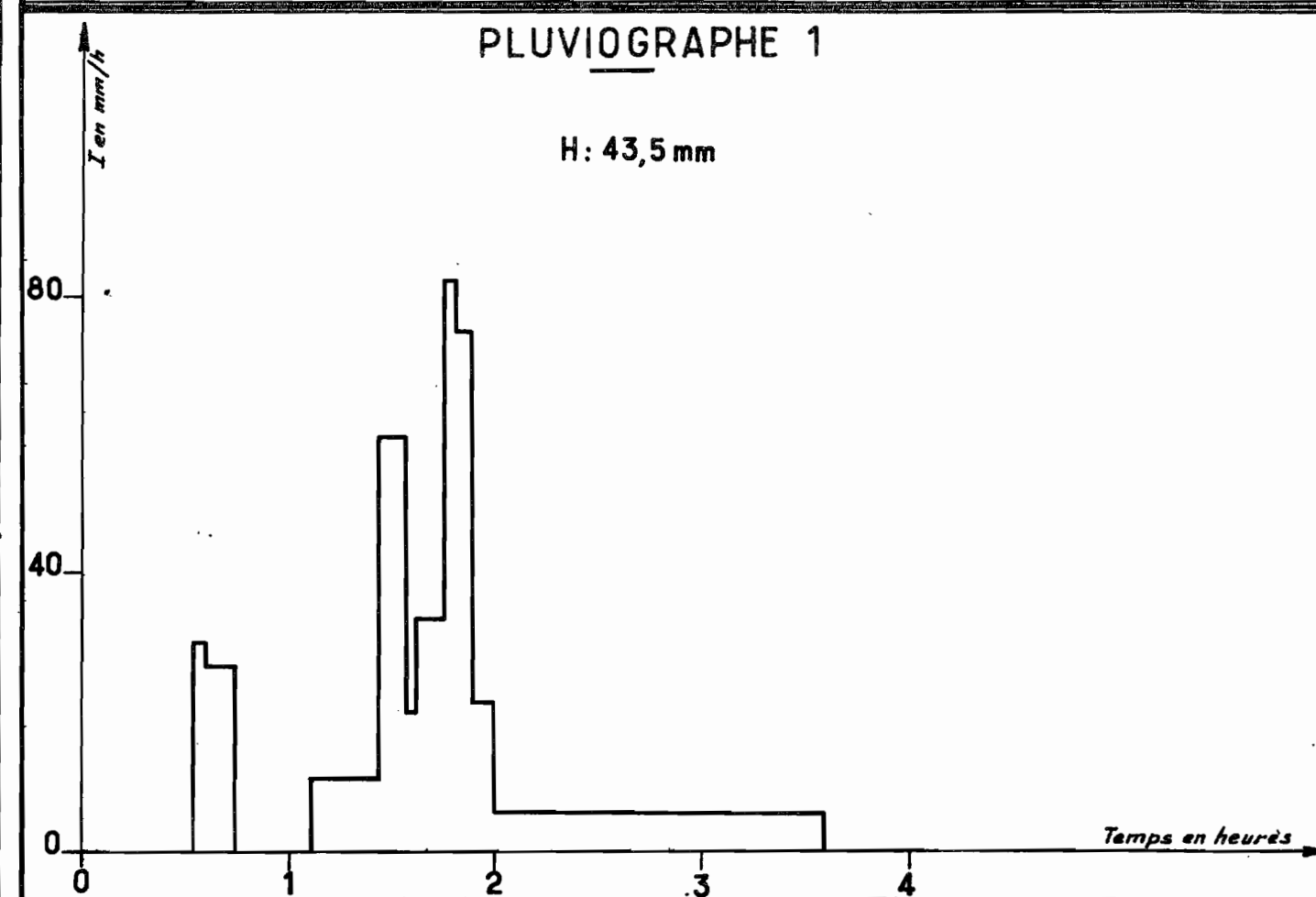
B.V. de KOGHO - Station n°2 - HYÉTOGRAMME MOYEN

Hmoy : 60,1 mm



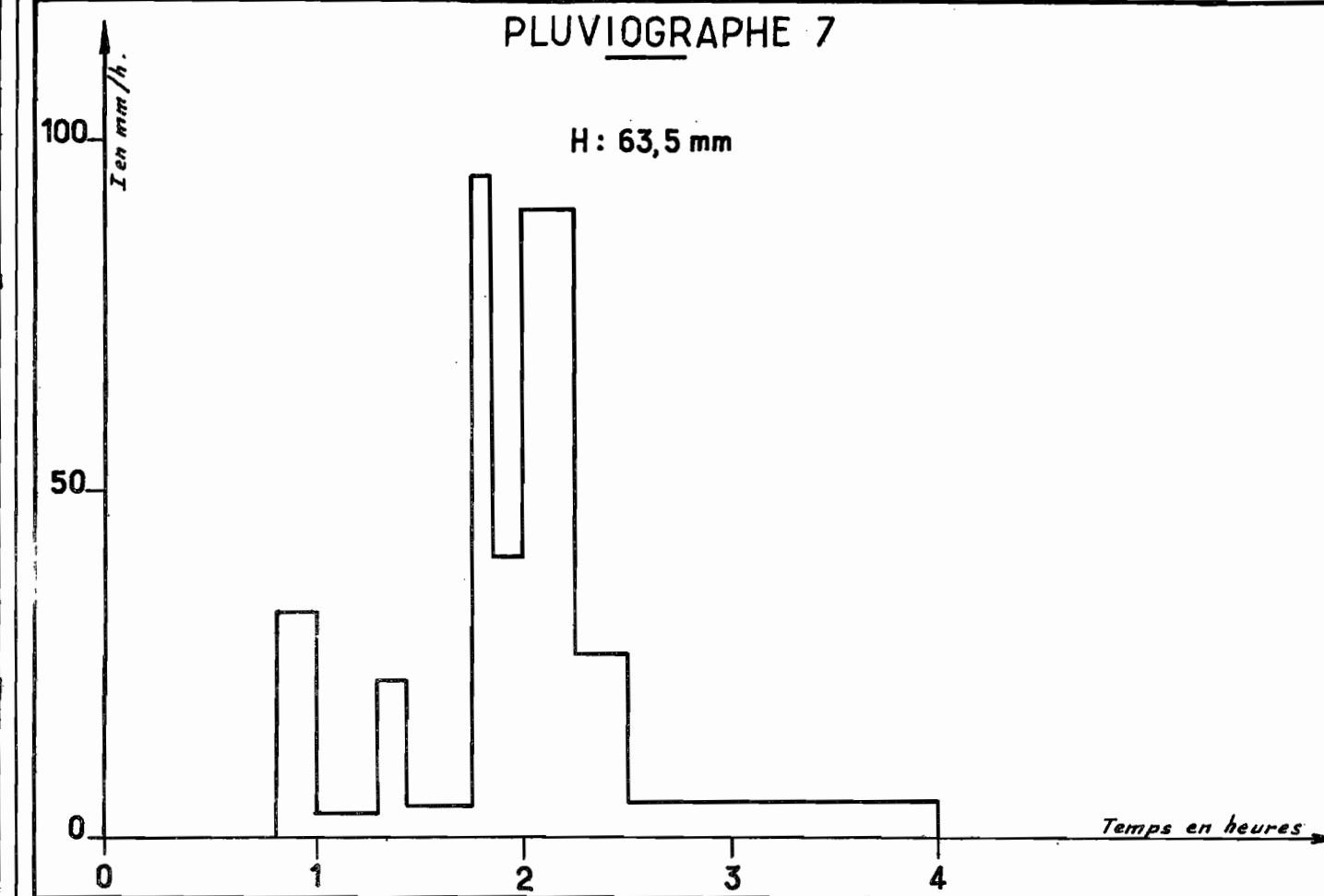
PLUVIOGRAPHE 1

H : 43,5 mm



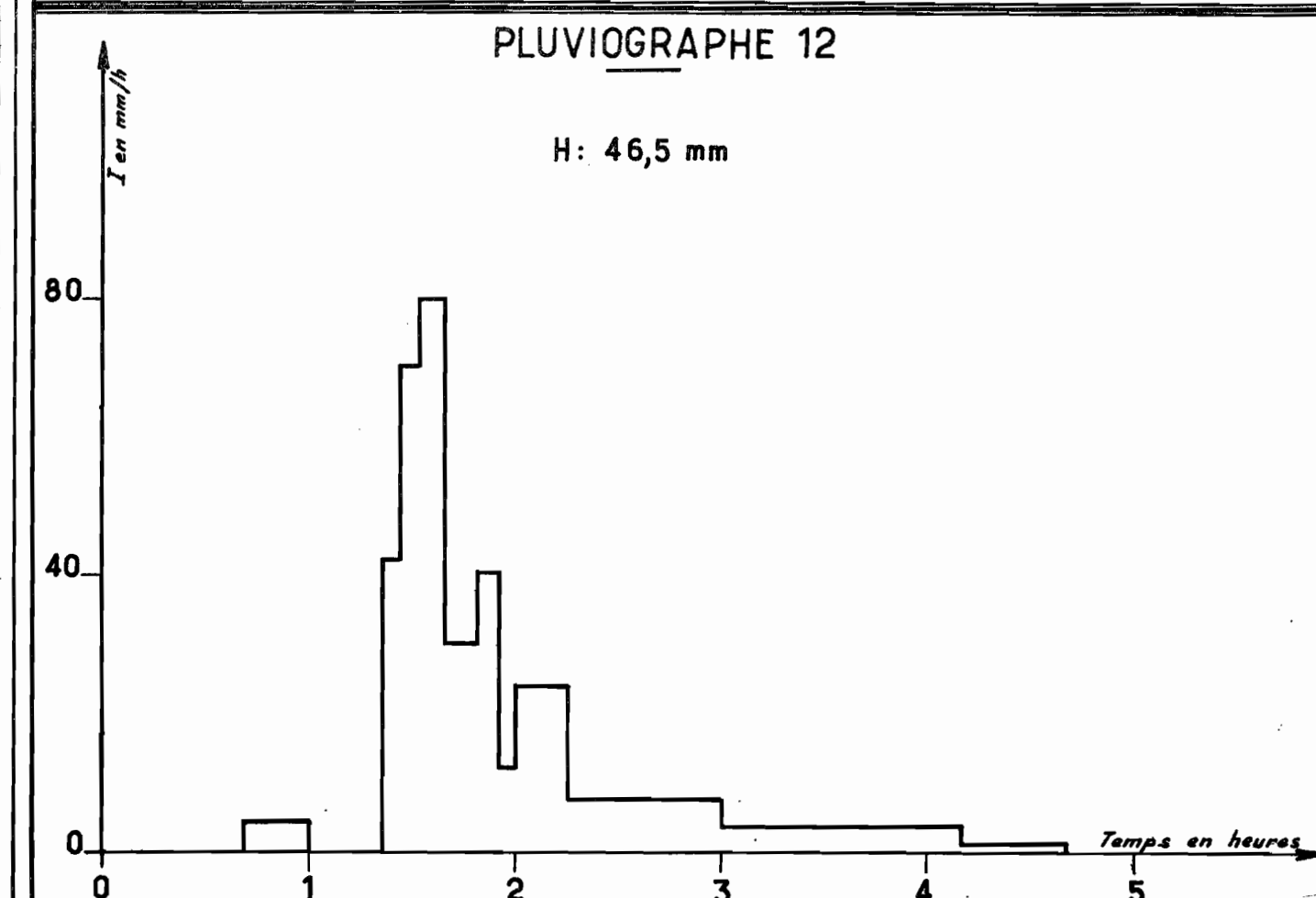
PLUVIOGRAPHE 7

H : 63,5 mm



PLUVIOGRAPHE 12

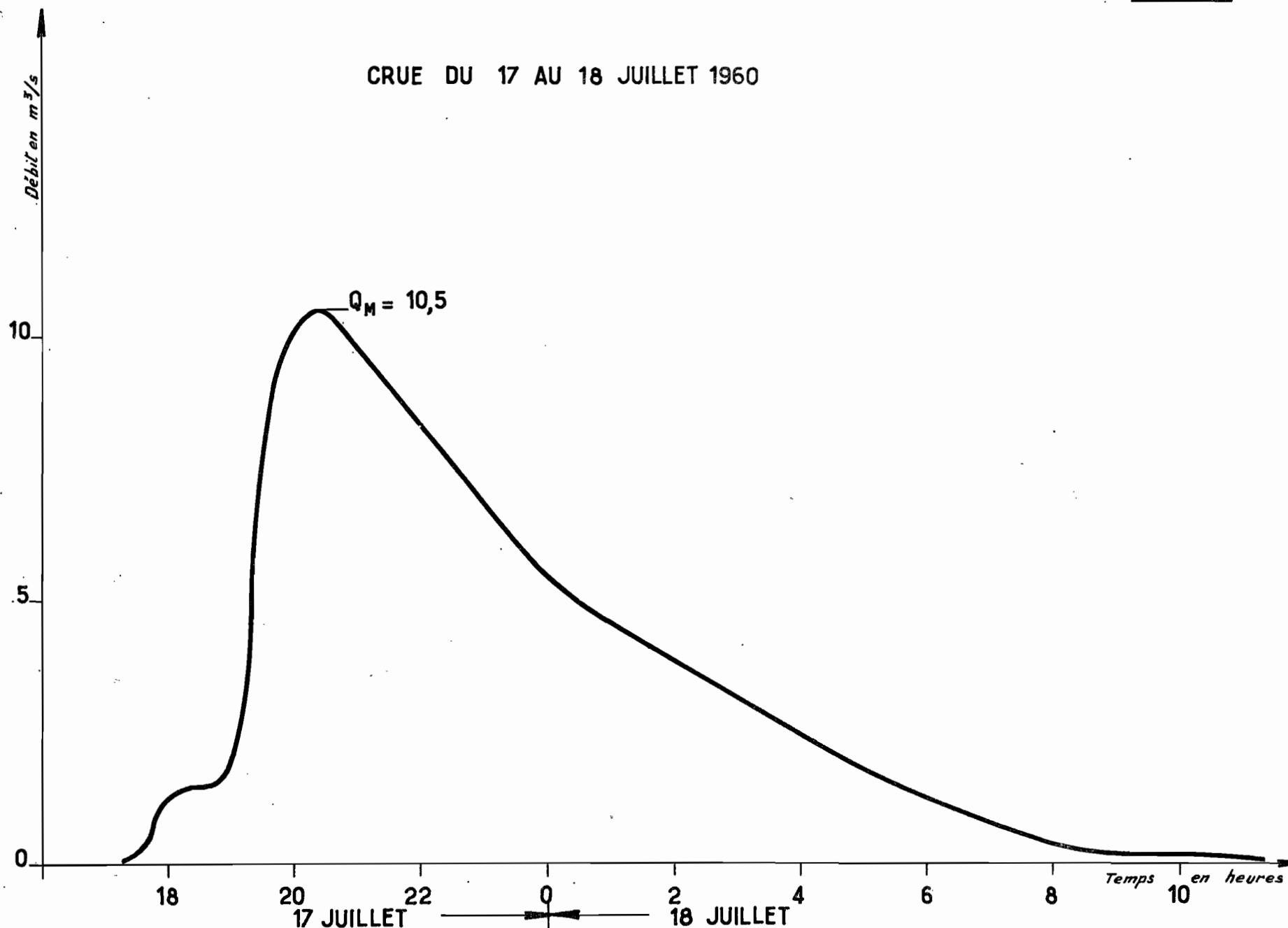
H : 46,5 mm



Le NIEBSDODÉ à KOGHNÉRE

Crue n°3

CRUE DU 17 AU 18 JUILLET 1960



ELECTRICITE DE FRANCE - INSPECTION GENERALE POUR LA COOPERATION HORS METROPOLE

CITUE

AO

DATE :

22 - 9 - 61

DESSINE :

Mélaye

Eqm

|

|

|

|

|

|

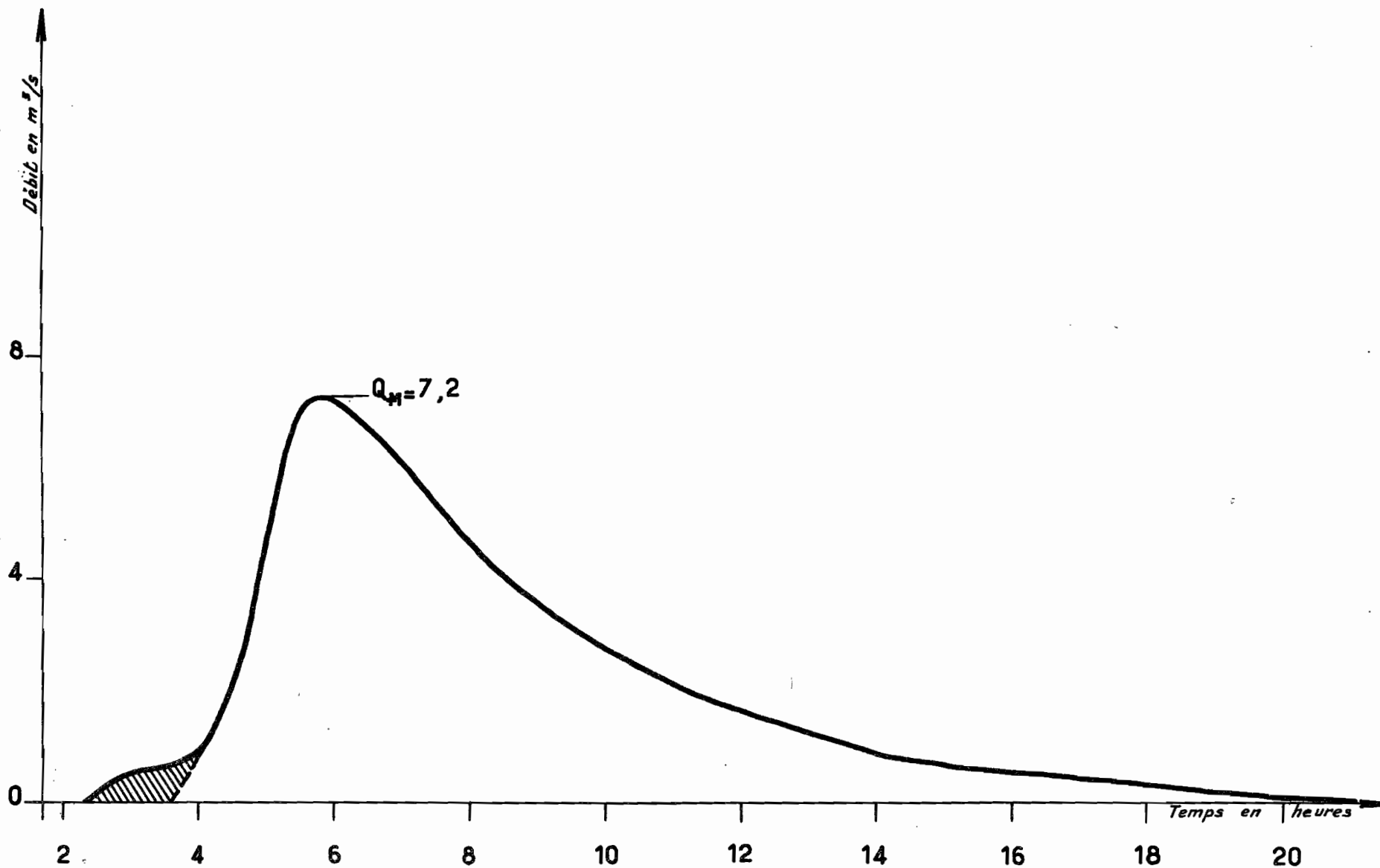
|

VOL-61.015

Le NIEBSDODÉ à KOGHNÉRE

Crue n° 5

CRUE DU 1 AOÛT 1960



ÉLECTRICITÉ DE FRANCE - INSPECTION GÉNÉRALE POUR LA COOPÉRATION HORS MÉTROPOLÉ
CITUBE
AO
DATE : 9-64
DESSINÉ : J. Métauer
Ech

VOL. 61.016

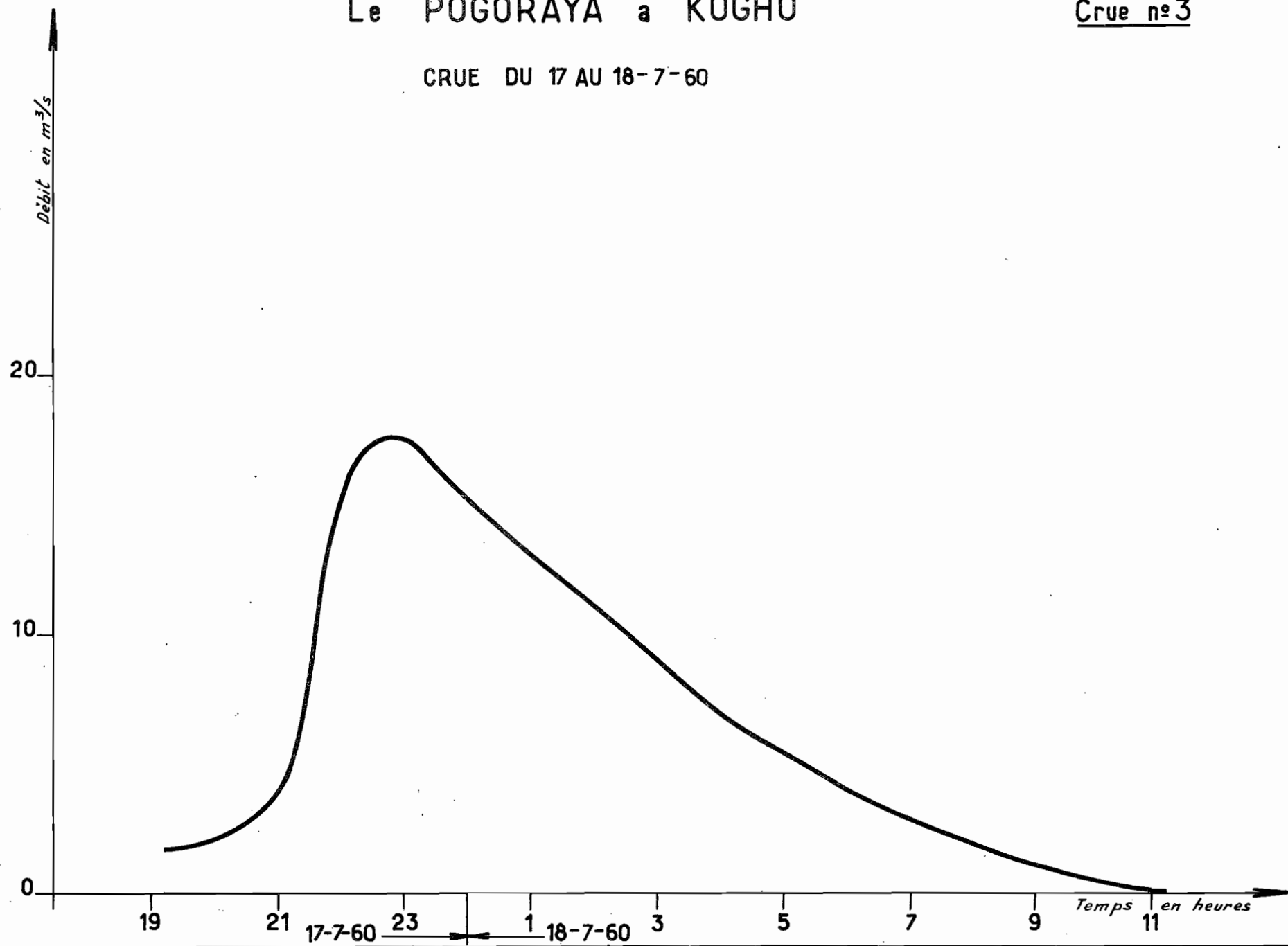
CITUBE
AO
DATE : 9-61
DESSINÉ : J. Mélaye
EOM
ELECTRICITÉ DE FRANCE - INSPECTION GÉNÉRALE POUR LA COOPÉRATION HORS MÉTROPOLÉ

VOL. 61.012

Le POGORAYA à KOGHO

Crue n°3

CRUE DU 17 AU 18-7-60



Le POGORAYA à KOGHO

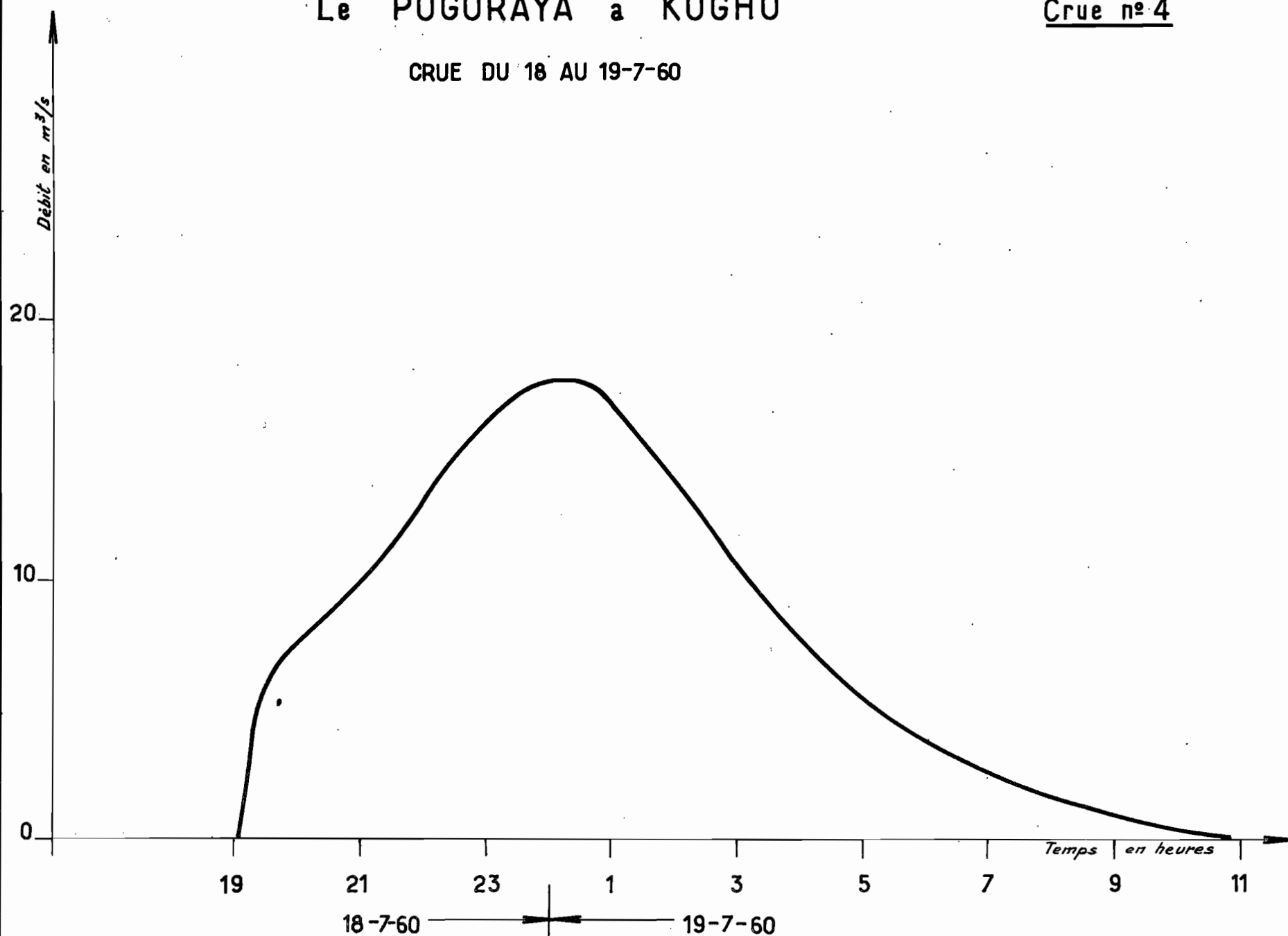
Crue n° 4

CRUE DU 18 AU 19-7-60

ÉLECTRICITÉ DE FRANCE-INSPECTION GÉNÉRALE POUR LA COOPÉRATION HORS MÉTROPOLÉ
CITUBE AO DATE : 9-64 DESSINÉ : J. Mélaye

EON

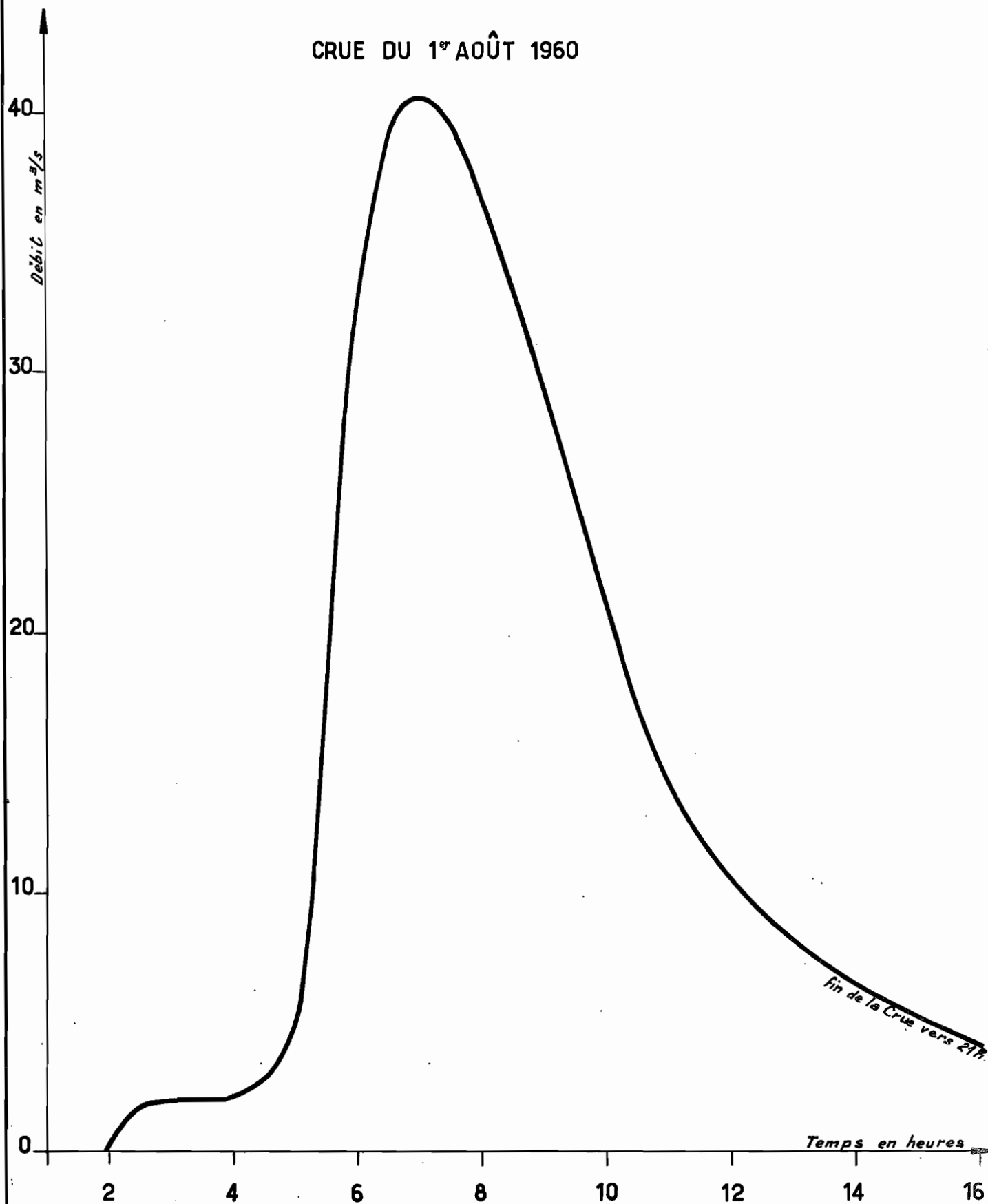
VOL. 61.013



Le POGORAYA à KOGHO

Crue n°5

CRUE DU 1^{er} AOÛT 1960



ÉLECTRICITÉ DE FRANCE INSPECTION GÉNÉRALE POUR LA COOPÉRATION HORS MÉTROPOLE

C^T TUBE

AO

DATE : 9-61

DESSINÉ : J. Mélaye

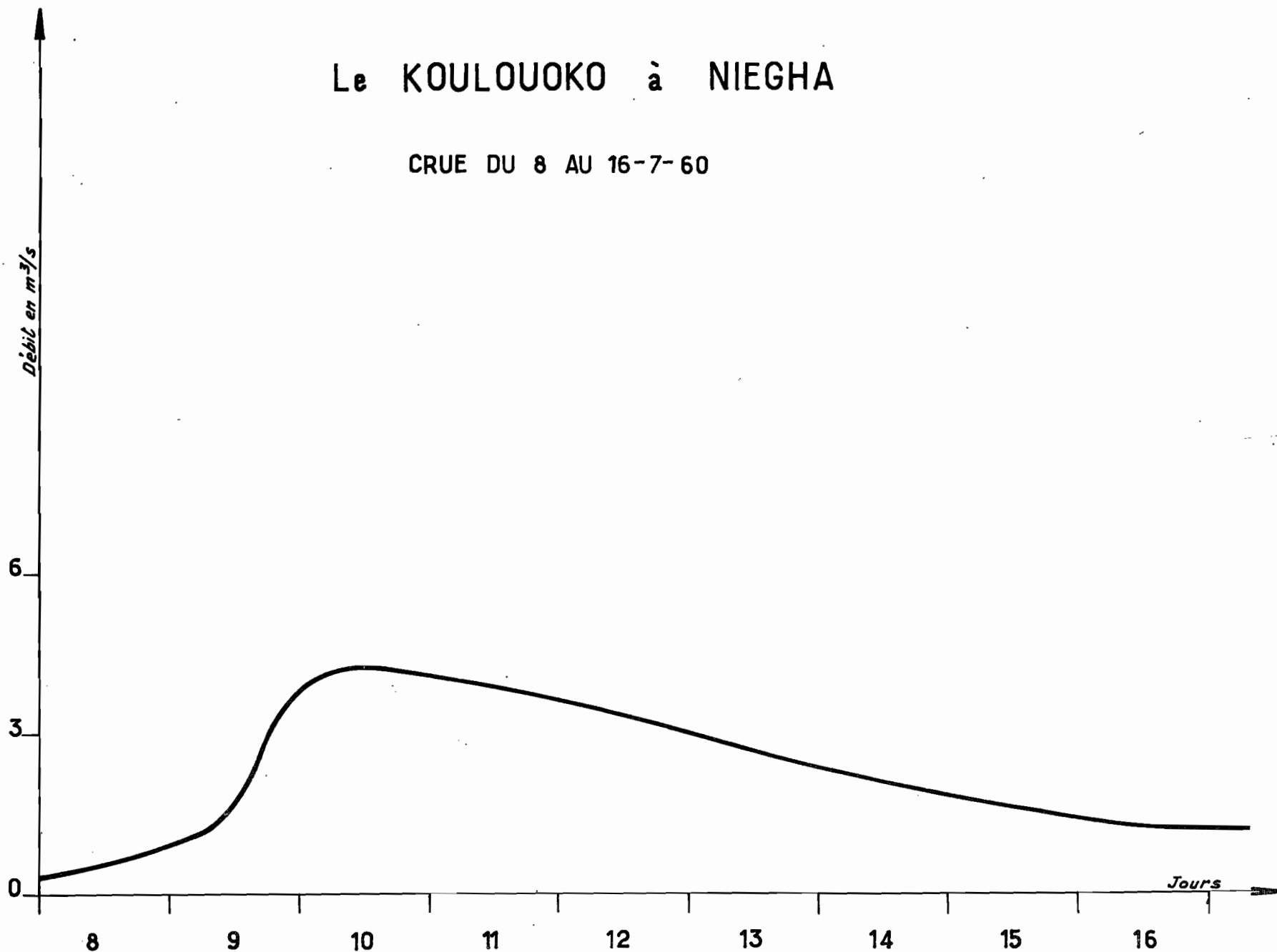
EON

|||

VOL. 61.014

Le KOULOUOKO à NIEGHA

CRUE DU 8 AU 16-7-60



ÉLECTRICITÉ DE FRANCE - INSPECTION GÉNÉRALE POUR LA COOPÉRATION HORS MÉTROPOLÉ
CITUBE AO DATE : 9-61 DESSINÉ : J. Mélayet

VOL. 61.017

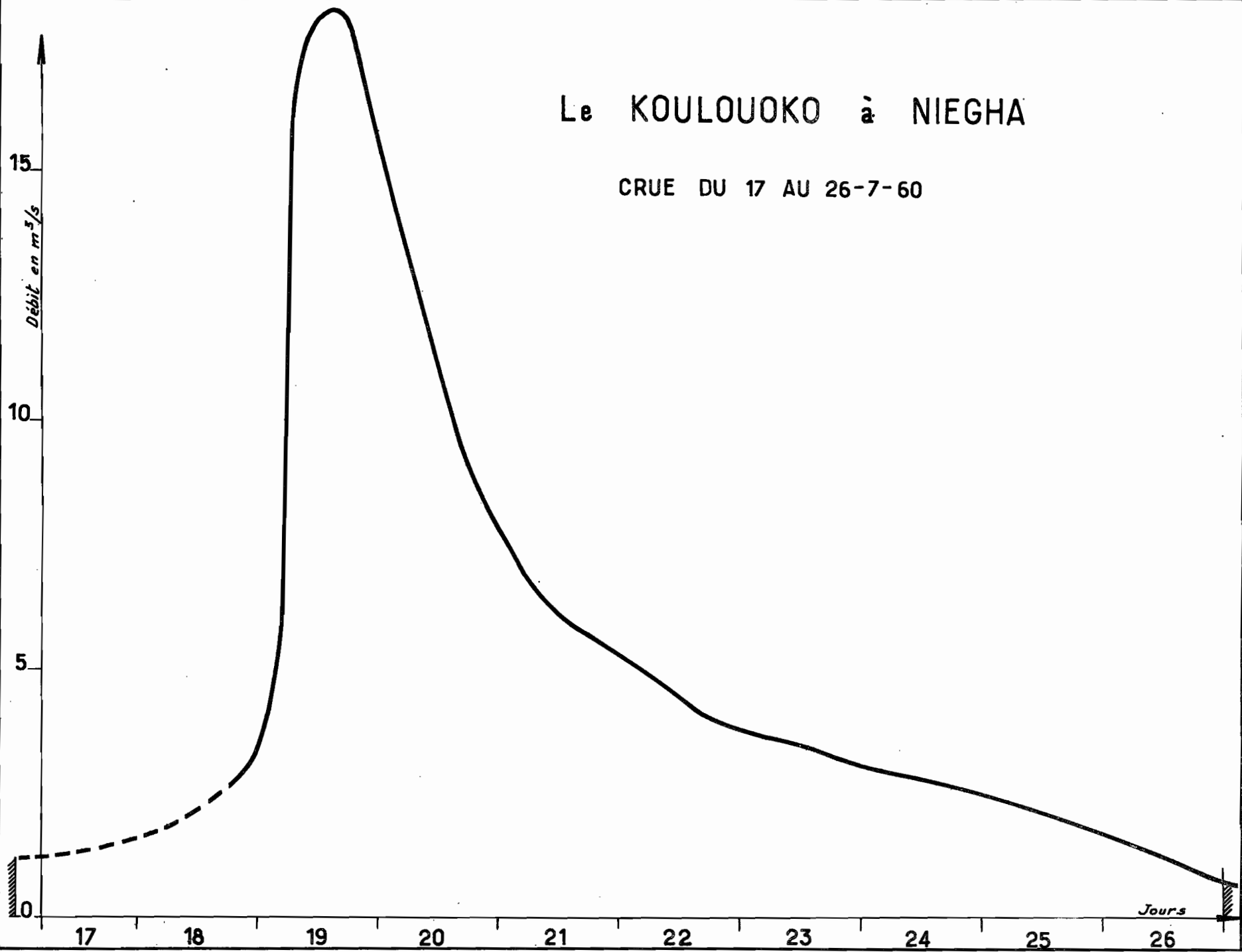
CITUBE AO DATE: 9-61 DESSINÉ: J. Métrayer EOM

ELECTRICITÉ DE FRANCE. INSPECTION GÉNÉRALE POUR LA COOPÉRATION HORS MÉTROPOLÉ

VOL. 61.018

Le KOULOUOKO à NIEGHA

CRUE DU 17 AU 26-7-60



Le KOULOUOKO à NIEGHA

CRUE DU 2 AU 11-8-1960

